

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.

_____ О. В. Попов
« ____ » _____ 2022 р.

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

Тема: «Методика діагностування деталей повітряних суден»

Виконав: _____ Д.О. Денисенко

Керівник: канд. техн. наук, доц. _____ С.Є. Сікорський

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

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

охорона навколишнього

середовища: канд. біол. наук, доц. _____ А.О. Падун

Нормоконтролер: _____

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

Освітній ступень «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

_____ О. В. Попов

«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

ДЕНИСЕНКО ДЕНИСА ОЛЕКСАНДРОВИЧА

1. Тема роботи: **«Методика діагностування деталей повітряних суден»** затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1786/ст
 2. Термін виконання роботи: з 26 вересня 2022 року по 30 листопада 2022 року.
 3. Вихідні дані до роботи: статистичні дані за результатами досвіду експлуатації елементів крила літака з композиційних матеріалів, пошкодження, пошкодження і несправності елементів крила літака з композиційних матеріалів, рівень контролепригодности об'єкта діагностування.
 4. Зміст пояснювальної записки: аналіз досвіду експлуатації елементів крила літака і сучасних (перспективних) підходів для вирішення завдань діагностування конструктивних елементів з композиційних матеріалів за параметрами робочого процесу; розробка алгоритму діагностування, розробка технологічних принципів діагностування в умовах експлуатації, розробка заходів з охорони праці та навколишнього середовища.
 5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: використання композиційних матеріалів в авіації; полімерні композиційні матеріали; дефекти і пошкодження конструкцій з композиційних матеріалів; особливості використання методів неруйнівного контролю композиційних матеріалів; схема збору та обробки дефектоскопічної інформації, дослідження конструкцій на основі склопластику, комп'ютерна обробка дефектоскопічної інформації.
- Графічний (ілюстративний) матеріал виконано за допомогою Microsoft Office Excel, Power Point, САПР КОМПАС та AutoCad та представлено у вигляді презентацій.

6. Календарний план–графік

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Аналіз існуючих методів діагностування технічного стану елементів конструкції повітряних суден, що виготовлені із полімерних композиційних матеріалів	26.09.2022- 30.09.2022	
Аналіз полімерних композиційних матеріалів та їх дефектів, що використовуються в авіаційній техніці Постановка задач дослідження	01.10.2022 – 15.10.2022	
Вибір методики діагностування технічного стану полімерних композиційних матеріалів	16.10.2022 – 21.10.2022	
Розробка плану експериментів дослідження змащувальних процесів	21.10.2022 – 27.10.2022	
Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів	27.10.2022 – 10.11.2022	
Розробка рекомендацій щодо підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів	10.11.2022 – 14.11.2022	
Виконання окремих розділів роботи : охорона праці, охорона навколишнього середовища	10.11.2022 – 15.11.2022	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	14.11.2022 – 22.11.2022	
Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.11.2022 – 22.11.2022	

7. Консультанти по окремих розділах

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

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

Керівник кваліфікаційної роботи _____ С.Є. Сікорський

Завдання прийняв до виконання _____ Д.О. Денисенко

Реферат

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Методика діагностування деталей повітряних суден»:

116 с., 12 рис., 24 табл., 42 посил.

Об'єкт досліджень – процес діагностики виробів із композиційних матеріалів.

Предмет досліджень – установка та обладнання для проведення акустичного контролю деталей з композиційних матеріалів.

Мета кваліфікаційної роботи – на основі аналізу пошкоджень та дефектів деталей з композиційних матеріалів вдосконалити технологічний процес діагностики деталей із полімерних композиційних матеріалів.

Методи дослідження.

Методи математичної статистики, методи теорії вимірювань, неруйнівного контролю, матеріалознавства та обробки сигналів.

Практичне значення роботи Для вирішення поставлених завдань використовувалися аналіз особливостей авіаційних конструкцій з полімерних композиційних матеріалів і аналіз технології виробництва композитів, методи математичного та комп'ютерного моделювання відтворення акустичних хвиль.

На основі використання акустичних методів неруйнівного контролю розроблені заходи щодо їх вдосконалення, спрямовані на збільшення продуктивності праці, зменшення трудомісткості контролю і ремонту, а в наслідок і підвищення якості ремонту конструкцій з полімерних композиційних матеріалів.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати в практичній діяльності авіаремонтних заводів і авіаційно-експлуатуючих підприємствах.

**АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ДЕФЕКТ, ДІАГНОСТИКА,
КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ,
РЕМОНТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	9
ВСТУП	11
<u>1</u> АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	16
1.1 Проблеми застосування та діагностики композиційних матеріалів.....	16
1.1.1 Проблематика діагностування елементів і з композиційних матеріалів.....	18
1.1.2 Розвиток систем діагностики елементів конструкцій з композиційних матеріалів.....	19
1.2 Класифікація композиційних матеріалів.....	20
1.3 Класифікація дефектів деталей з ПКМ.....	24
1.3.1 Виробничі та експлуатаційні дефекти полімерних композиційних матеріалів.....	24
1.3.2 Дефекти типу відшарування і їх вплив на несучу здатність конструкцій.....	29
1.3.3 Структурні дефекти в просторово-армованих композитах та їх вплив на властивості матеріалів.....	30
Висновки до розділу 1	33
<u>2</u> АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	34
2.1 Методи виявлення та оцінки дефектів.....	35
2.2 Вимоги до методів контролю	39
2.3 Аналіз ефективності методів контролю якості	41
2.4 Вибір методів неруйнівного контролю.....	45
2.5 Дефектоскопія шаруватих конструкцій з полімерних композиційних матеріалів.....	51
2.5.1 Візуальні та оптичні методи неруйнівного контролю	53

	7
2.5.2 Методи, що використовують акустичні хвилі	55
2.6 Інформаційні параметри акустичного контролю. Обробка дефектоскопічної інформації.....	63
Висновки до розділу 2	68
3 АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ГАБАРИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	69
3.1 Обладнання для ультразвукового контролю деталей із композиційних матеріалів.....	69
3.2 Сигнали засобів неруйнівного контролю	71
3.3 Математичні моделі сигналів та інформативних параметрів.....	73
3.4 Математичні моделі вимірювань	74
3.5 Контроль габаритних конструкцій з полімерних композиційних матеріалів	75
Висновки до розділу 3	83
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	84
4.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці.....	84
4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники ГОСТ 12.1.003-74 СББТ	86
4.3 Розробка заходів щодо зниження впливу небезпечних чинників, обумовлений інженерним розрахунком.	89
4.4 Пожежна і вибухова безпека.....	92
4.5 Інструкція забезпечення безпеки при ремонтних роботах	95
Висновки до розділу 4	98
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	99
5.1 Негативний вплив аеропортів і авіаційного транспорту на навколишнє середовище	99
5.2 Вплив шуму, інфра та ультразвуку на людину і навколишнє середовище.	104

5.3 Розрахунок рівня авіаційного шуму під траєкторією зльоту та посадки літака	106
Висновки до розділу 5	110
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	111
СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

CCD	- Charge-coupled device;
ICAO	- International Civil Aviation Organization;
ККМ	- керамічні композиційні матеріали;
КМ	- композиційні матеріали;
ЛА	- літальний апарат;
ЛКП	- лакофарбове покриття;
МКМ	- металеві композиційні матеріали;
НД	- нормативна документація;
НК	- неруйнуючої контроль;
РМК	- руйнівні методи контролю;
ООН	- Організація Об'єднаних Націй;
ПКМ	- полімерні композиційні матеріали;
СВАМ	- скловолокнистий армований матеріал;
УЗ	- ультразвуковий;
ВВКМ	- вуглець-вуглецеві композиційні матеріали;
ЕОМ	- електронна обчислювальна машина;
σ_x^2	- дисперсія помилки вимірювання;
ρ	- щільність матеріалу;
(i, j)	- координати точки контролю;
$ \Delta x $	- модуль похибки вимірювань;
$A(t), A(i, j)$	- амплітуда сигналу;
E_p/\square	- питома модуль пружності;
$f(t)$	- функція часу;
F_p	- зусилля реакції сигналу;
$F_{pд}$	- зусилля реакції сигналу дефекту;
$K_1(i, j)$	- флуктуації передачі п'єзодатчиків;

- $K_2(i, j)$ - флуктуації передачі пьезопріємників;
- L_i - рівень звукового тиску в основній смузі частот вимірювань на робочому місці;
- L_{ie} - ефективність кошти в октавній смузі частот на конкретний вид шуму;
- L_p - рівень звукового тиску;
- L_w - рівень звукової потужності джерела шуму;

ВСТУП

Підвищення ефективності використання за призначенням авіаційної техніки при забезпеченні високої безпеки польотів – головне джерело зміцнення і зростання економіки підприємств цивільної авіації.

Для підвищення ефективності використання авіаційна техніка вдосконалюється, зростає насичення літальних апаратів автоматичними системами управління та регулювання, цифровими обчислювальними пристроями. Однак при цьому зростає складність систем авіаційної техніки, число елементів, вузлів, блоків, виробів. Кожен з елементів в процесі роботи може відмовити. І чим більше елементів у виробі, тим більша ймовірність того, що в польоті хоча б один з цих елементів відмовить.

Поява відмови певних виробів в польоті може бути причиною передумови до льотного події або самого події. Таким чином, ускладнення авіаційної техніки з метою підвищення її ефективності загострює проблеми забезпечення її надійності і безпеки польотів.

Недостатню надійність, закладену при створенні виробів авіаційного обладнання, важко компенсувати навіть високою якістю її технічного обслуговування. При цьому зростають час і трудовитрати на обслуговування авіаційного обладнання, так як при малій його надійності необхідно збільшувати глибину і частоту контролю технічного стану виробів, обсяги профілактичних та відновлювальних робіт, збільшується час простоїв повітряних суден і, отже, зростають витрати сил і засобів на технічне обслуговування, зменшується економічна ефективність використання авіаційної техніки.

У завдання технічного обслуговування і ремонту входить не тільки відновлення відмовлених об'єктів, а й максимальне скорочення числа самих відмов за рахунок їх своєчасного попередження. Це можливо лише при проведенні профілактичних робіт на авіаційному обладнанні і використанні методів прогнозування його технічного стану.

Застосування на практиці науково обґрунтованих методів і засобів діагностування авіаційної техніки забезпечує скорочення часу її простою, зниження витрат коштів і праці на технічне обслуговування [1].

Термін «ДІАГНОСТИКА» грецького походження (diagnostikos), що складається зі слів – dia (між, нарізно, після, через, раз) і gnosis (знання). Таким чином, слово diagnostikos можна трактувати, як здатність розпізнавати. В епоху Відродження – діагностика вже медичне поняття, що означає розпізнавання хвороби. У ХІХ - ХХ ст. це поняття стало широко використовуватися в філософії, а потім і в психології, медицині, техніці та інших областях. У загальному сенсі, діагностика – особливий вид пізнання, що знаходиться між науковим знанням суті і розпізнанням будь-якого одиничного явища. Результат такого пізнання – діагноз, тобто висновок про належність суті, вираженої в одиничному явищі, до певного встановленого наукою класу [2].

Також до завдань діагностики входить своєчасне попередження стану об'єкта. Попередження майбутнього стану на основі інформації можливо лише при використанні методів прогнозування стану. Слово «прогноз» грецького походження і означає передбачення змін у розвитку і кінець будь-яких подій, явищ, процесів на підставі отриманих даних [3].

Незважаючи на заходи, що вживаються для підвищення надійності авіаційної техніки, відмови виробів в процесі їх експлуатації виключити неможливо.

Рішенням питань цієї проблеми займається технічна діагностика. Технічна діагностика – це галузь знань, що охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єктів. Процес визначення технічного стану об'єкта називається технічним діагностуванням. В процесі експлуатації об'єкт може переходити з одного стану в інший в результаті появи подій.

Таким чином, підводячи ризик під вищесказаним, слід акцентувати увагу на трьох основних напрямках, навколо яких і базуються уявлення про

класичні і прикладних задачах в галузі теоретичної та практичної діагностики, її інформаційні складові - генез, діагноз, прогноз [2].

Сучасна технічна діагностика користується для визначення технічного стану авіаційної техніки приладами, що дають можливість більш об'єктивно визначати стан цієї техніки, а також сприймати діагностичні сигнали, що випромінюються механізмом, недоступні сприйняттю безпосередньо органами почуттів людини.

Для розробки методів і засобів технічної діагностики будь-якої техніки, перш за все, слід виявити, які параметри характеризують роботу перевіряється техніки і визначають її надійність. Потім треба встановити діагностичні критерії кількісної величини параметрів і для їх визначення розробити відповідні методи і засоби. Методи і засоби діагностики окремих агрегатів, систем і механізмів визначаються їх конструкцією і виконуваними функціями.

Засоби діагностики авіаційної техніки служать для фіксування і вимірювання величини діагностичних ознак (параметрів). Для цього застосовують прилади, пристосування і стенди по характеру діагностичних ознак і методів діагностики. Основними вимогами до засобів діагностики є: забезпечення достатньої точності вимірів, зручність і простота використання при мінімальній витраті часу [4].

Застосування на практиці науково обґрунтованих методів і засобів діагностування авіаційної техніки забезпечує скорочення часу її простою, зниження витрат коштів і праці на технічне обслуговування.

Застосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) в авіабудуванні не новинка. Це перспективний і добре себе зарекомендував матеріал, який не поступається, а часто, що перевершує традиційні конструкційні матеріали за своїми характеристиками міцності, втомної витривалості, питомою вагою і т.п. Тільки за останнє десятиліття частка композиційних матеріалів в конструкції літаків зросла більш ніж удвічі і на сьогоднішній день, на деяких моделях літаків (Boeing-787, Airbus A350), досягає 50 – 55 %, для літаків малої авіації цей показник ще вище і досягає 80

– 85 % [5]. Існують окремі зразки безпілотних літальних апаратів на 100% виготовлені з композиційних матеріалів [6, 7].

Полімерні композиційні матеріали найбільш повно відповідають вимогам підвищення ефективності використання літака при незмінно високих показниках надійності і безпеки.

Однак, зі зростанням обсягів застосування композиційних матеріалів, все більш нагальними стають питання об'єктивної оцінки фактичного стану елемента конструкції з композиційного матеріалу, так як поряд з багатьма перевагами застосування композитів існують також і суттєві недоліки даного матеріалу, зокрема, вразливість перед ударними навантаженнями і недостатня вологостійкість .

Крім оцінки фактичного стану, необхідно, з метою оцінки рівня надійності літальних апаратів в цілому, здійснення прогнозування зміни стану композиційного елемента конструкції з урахуванням конкретних експлуатаційних факторів і особливостей експлуатації літака.

Актуальність роботи

Полімерні композиційні матеріали знаходять все більше застосування для деталей відповідального призначення літальних апаратів. В авіаційній техніці особливо значним є зростання обсягу застосування високомодульних ПКМ – углепластиків, склопластиків, органопластиків, вуглець-вуглецевих матеріалів, а також ПКМ, в яких шари волокнистого матеріалу чергуються з шарами фольги і різних гібридних ПКМ.

В даний час відсіки фюзеляжу, кесона і панелі крила, деталі механізації крила, носові частини кіля і стабілізатора, панелі стабілізатора і кіля, деталі конструкції вертольота, лопатки компресорів, вентиляторів, гвинтів, що підсилюють накладки корпусу, оболонки монолітною і тришаровою конструкції і багато інших деталей літака виконуються з ПКМ, в тому числі з вуглепластика СКУ-17КЕ0,1 й склопластику ВПС-37К10, які формуються з клейових препрегів, одержуваних по расплавних технологіях.

Серед методів контролю деталей з ПКМ і багат шарових клеєних конструкцій акустичні методи за обсягом застосування займають перше місце. Ці методи засновані на взаємодії пружних коливань і хвиль широкого діапазону частот з контрольованою деталлю або конструкцією [8, 9].

Для неруйнівного контролю та діагностики клейових з'єднань з ПКМ застосовуються як традиційні акустичні методи, зазвичай реалізуються з використанням рідини для створення акустичного контакту між перетворювачем приладу і виробом (іммерсійний, струменевий, контактний варіанти), так і спеціальні низькочастотні акустичні методи, реалізовані з використанням сухого точкового контакту перетворювача з об'єктом контролю або еластичного протектора, з'єданого з робочим органом перетворювача, а також безконтактні методи [8 – 10].

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Проблеми застосування та діагностики композиційних матеріалів

На сьогоднішній день виконано досить велика кількість досліджень поведінки композиційних матеріалів при впливі на них різних експлуатаційних факторів.

Так, вплив вологи на фізичні властивості полімерних композиційних матеріалів дослідив та надав результати в монографії А.А. Кузнецов [11], результати вивчення кліматичного старіння композиційних матеріалів досліджені і представлені в роботі [12], вплив ударних навантажень, на основі досвіду експлуатації, узагальнено фахівцями компанії Abaris Training Resources [5], що спеціалізується на вивченні композиційних матеріалів.

Особливий інтерес викликає монографія Ф.А. Басова [13], в якій розроблено питання інтеграції діагностичного датчика в композиційну конструкцію. Як датчики стану композиційної конструкції передбачається використовувати чутливі елементи на базі вуглецевих ниток, впроваджені в композиційний матеріал на стадії його виготовлення. Даний метод дозволяє відстежувати робочі параметри конструкції в режимі реального часу, що має велике значення для прогнозування змін цих параметрів. Однак, при всіх перевагах даного методу контролю, він, зі зрозумілих причин, не може бути застосований до вже експлуатуються повітряним судам і крім того, даний метод значно підвищить вартість виготовлення композиційної конструкції.

Перспективними методами діагностики композиційних матеріалів є акустичні методи (ультразвуковий, акустичної емісії, низької удару і т.п.),

однак і вони потребують вдосконалення, для забезпечення широкого їх застосування в експлуатаційних підприємствах [5].

На сьогоднішній день компаніями Olympus і General Electric створено і схвалено для застосування на літаку Boeing-787 ультразвуковий пристрій неруйнівного контролю Ramp Damage Checkers (RDC) [5]. Пристрій призначений для використання техперсоналом, що не володіє спеціальними знаннями в області композиційних матеріалів. Передбачена найпростіша світлова індикація результатів перевірки (індикатори червоного і зеленого кольору). У той же час виробник підкреслює, що RDC - засіб первинної діагностики. Сфера його застосування обмежена пошуком підповерхневих пошкоджень. Принцип роботи RDC заснований на мікропроцесорном порівнянні поточної картини ультразвукової діагностики з картинами типових пошкоджень композиційної конструкції. Однак широке застосування даного пристрою неможливо без збору даних по конкретному типу повітряного судна (ПС), і це є суттєвим його недоліком.

Також не слід враховувати при розгляді оптичні методи діагностики. Зокрема, метод інфрачервоної оптичної дефектоскопії, який є досить перспективним в області вивчення пошкоджень композиційних конструкцій. При певних умовах даний метод діагностики демонструє більш високу точність і достовірність результатів контролю, в порівнянні з традиційними акустичними методами. До недоліків даного методу діагностики необхідно віднести ту обставину, що різні типи композиційних матеріалів (склопластики, вуглепластики і т.п.) показують різні оптичні властивості, що обумовлює необхідність проведення попередніх досліджень в даній області.

При всій безсумнівною значимості перерахованих вище методів, вплив різних експлуатаційних факторів в них розглядалося відокремлено, в той час як для отримання найбільш достовірного результату необхідно вивчення комплексного впливу на композиційні елементи конструкції зовнішніх чинників, з урахуванням відмінностей складу і структури композиційного матеріалу.

1.1.1 Проблематика діагностування елементів і з композиційних матеріалів

Серед усіх областей застосування літаків цивільної авіації найбільш специфічними, з точки зору особливостей та інтенсивності експлуатаційних впливів, по праву вважається виконання навчальних і навчально-тренувальних польотів, а також застосування авіації в сільському господарстві.

Так, наприклад, для літаків малої авіації, що використовуються при виконанні навчальних польотів, визначальними експлуатаційними чинниками будуть:

- необхідність багаторазового повторення одних і тих же маневрів;
- часті цикли «зліт-посадка», з ймовірністю грубої посадки.

А для літаків, що використовуються в сільськогосподарській авіації, крім перерахованих вище, важливими факторами будуть:

- зліт і посадка на невідготовлені і ґрунтові майданчики, що викликає ризик пошкоджень конструкції літака непов'язаними твердими частинками (гравій, пісок і т.п.);
- виконання польотів на малих і надмалих висотах;
- польоти в неспокійному повітрі;
- підвищений вміст вологи і органічних частинок в приземному шарі;
- вплив на елементи конструкції розпилюваних отрутохімікатів;
- базування в польових умовах і т.п.

Необхідно підкреслити, що однією зі складових зниження вартості виконання технічного обслуговування і ремонту є раннє виявлення пошкоджень композиційних матеріалів і передумов до їх виникнення (таких як, наприклад, скупчення вологи в заповнювачі композиту).

Так як ремонт елементів конструкції з композиційних матеріалів є досить дорогим, то, виходячи з економічних міркувань, він повинен проводитися на ранніх стадіях пошкодження. Однак, керуючись існуючими нормативними документами щодо проведення технічного обслуговування, ця умова не завжди може бути виконано. Так, наприклад, Керівництво з льотної

експлуатації літака Diamond DA 40 NG [14], передбачає лише візуальні огляди стану композиційних елементів конструкції, а також діагностику методом низької удару, виконувану техніком вручну, що є, по-перше малоінформативною на стадіях виникнення пошкодження композиційного матеріалу, що підтверджується висновками фахівців компанії Applied Composites Engineering [5], а по-друге – несе небезпеку мікропошкодження структури матеріалу при виконанні діагностики.

Дане завдання значно ускладнюється відсутністю стандартизації при виготовленні композиційного матеріалу. Виробник матеріалу сертифікує технологію виробництва і технологію виготовлення полімерних смол для використання на конкретному типі повітряного судна. Таким чином, два однотипних за структурою композиційних елемента, виготовлені різними виробниками, можуть мати різні фізико-хімічні властивості, і відповідно різні експлуатаційні характеристики. Це викликає необхідність проведення всього комплексу досліджень для кожного конкретного типу повітряного судна, що нездійснено виходячи з міркувань витрат часу і коштів. На жаль, тенденції до уніфікації композиційних матеріалів і створення загального стандарту їх виготовлення не спостерігається.

У той же час, існує діагностичне обладнання [15], не завжди може бути застосоване в силу того, що для виконання діагностичних процедур потрібна наявність висококваліфікованих персоналу, а також зважаючи на високу вартість і недостатню експлуатаційної технологічності самого діагностичного обладнання.

1.1.2 Розвиток систем діагностики елементів конструкцій з композиційних матеріалів

Для розробки методів діагностики елементів конструкції планера з полімерних композиційних матеріалів повітряних суден, необхідне рішення наступних завдань:

1. Питання, пов'язані з особливостями експлуатації повітряних суден:

- дослідження впливу специфічних факторів застосування літальних апаратів на композиційні матеріали;
- дослідження взаємодії складових частин композиційного матеріалу з авіаційними технологічними рідинами, і зміни експлуатаційних властивостей в результаті такої взаємодії;
- збір і аналіз даних експлуатації з метою оцінки зміни властивостей елементів конструкції з композиційних матеріалів при їх тривалій експлуатації;

2. На підставі аналізу експлуатаційних факторів розробка нових і вдосконалення відомих методів і засобів об'єктивної оцінки фактичного стану елементів конструкції з композиційних матеріалів, раннього виявлення його пошкоджень і передумов до пошкодження з урахуванням специфіки застосування літальних апаратів.

Виконання робіт на різних етапах супроводжуються прийняттям рішень, які мають специфічні особливості на кожному етапі й різну інформаційну забезпеченість про властивості об'єктів експлуатації, що вимагає необхідність використовувати нові методологічні підходи при оптимізації рішень [16].

Зміст оптимізації складається в забезпеченні збалансованих характеристик і властивостей виробів АТ по сукупності визначальних ознак, що сприяють найбільш ефективні їхні реалізації в умовах експлуатації. Відповідність нормам льотної придатності можна досягти як за рахунок удосконалення конструктивної схеми, підвищення надійності елементів функціональних систем, так і установкою ефективною контрольно-вимірювальної апаратури, зменшенням ресурсу й періодичності їх технічного обслуговування (ТО) та ін.

1.2 Класифікація композиційних матеріалів

Використання композитів в авіаційно-космічній промисловості в минулі часи обмежувалося зовнішньою обшивкою літаків, носками крила і задніми кромками крила, бортовими кухнями повітряного судна та іншими

застосуваннями для виробництва не конструкційних деталей. Але в наші дні композити використовуються для виробництва таких несучих конструкцій, як крила, фюзеляжі і поперечні балки і т.д.

Замінюючи алюміній і інші метали при виробництві деталей літаків на високоефективні композити низької щільності, творці літаків сподіваються знизити масу своїх літаків. А це може призвести до скорочення плати за паливо для клієнтів літаків комерційної авіації, які постійно стикаються зі зростанням конкуренції і безпрецедентним підвищенням паливних витрат.

Композиційні матеріали – багатоконпонентні матеріали, які складаються, як правило, із пластичної основи (матриці) та армуючих наповнювачів, що володіють високою міцністю, жорсткістю і т.д. Поєднання різнорідних речовин дозволяє створювати нові матеріали, властивості яких кількісно та якісно відрізняються від властивостей їх складових компонентів. Змінюючи склад матриці та наповнювача, їх співвідношення, орієнтацію наповнювача, отримують широкий спектр матеріалів з необхідним набором властивостей. Більшість композитів перевершують традиційні матеріали і сплави по своїм механічним властивостям і при цьому являються легшими. Тому використання композитів дозволяє зменшити масу конструкції при збереженні або покращенні її механічних характеристик. Порівняння характеристик конструкційних матеріалів наведено в таблиці 1.1.

Компонентами композитів являються різні матеріали – метали, кераміка, скло, пластмаси, вуглець і т.п. Відомі багатоконпонентні матеріали – поліматричні, коли в одному матеріалі поєднують декілька матриць, або гібридні, які поєднують в собі різні наповнювачі. Наповнювач забезпечує міцність, жорсткість, стійкість до деформацій матеріалу, а матриця відповідає за монолітність матеріалу, передачу напружень в наповнювачі та стійкість до різних зовнішніх впливів.

Таблиця 1.1 – Характеристики конструкційних матеріалів

Матеріал	Густина ρ , г/см ³	Міцність на розтяг S_p , ГПа	Модуль пружності	Питома міцність	Питомий модуль пружності
----------	---------------------------------------	--------------------------------------	---------------------	--------------------	--------------------------------

			при розтязі E _p , ГПа	S _p /E _p , ГПа/Г·см ³	E _p / ρ, ГПа/Г·см ³
Полімерні матеріали					
1. Склопластики:					
• однонаправлені	2.1	1.6 – 2.1	56 – 70	0.76 – 1.0	27 – 33
• перехресні	2.0	1.0 – 1.2	36 – 42	0.5 – 0.6	18 – 20
2. Органопластики:					
• однонаправлені	1.35	1.9 – 2.5	80 – 95	1.4 – 1.85	59 – 70
• перехресні	1.35	1.2 – 1.6	53 – 63	0.88 – 1.2	39 – 46
3. Вуглепластики:					
• однонаправлені	1.5	1.0 – 1.5	120 – 180	0.66 – 1.0	80 – 120
• перехресні	1.5	0.6 – 1.0	80 – 120	0.4 – 0.67	53 – 80
4. Боропластики:					
• однонаправлені	2.0	1.5	240	0.75	120
• перехресні	2.0	0.9	160	0.45	80
Металеві сплави					
5. Алюмінію АМГ - 7	2.64	0.34	72	0.13	27
6. Магнію МА-2-1	1.8	0.32	43	0.18	24
7. Титану ВТ-3-1	0.5	1.25	110	0.28	22
8. Берилію АБМ-1	2.35	0.42	140	0.18	60
9. Сталі	7.89	1.9	200	0.24	25

Композити, в яких в якості матриці служить полімерний матеріал являються самими поширеними і різноманітними матеріалами. Їх застосування в різних областях дає значний економічний ефект. Наприклад, використання полімерних композиційних матеріалів при виготовленні космічної та авіаційної техніки дає змогу зменшити масу літального апарату на 5 – 30 %. А зниження маси, наприклад, штучного супутника на навколоремній орбіті на 1кг дозволяє економити більше 1000 доларів.

В якості наповнювачів ПКМ використовують різні речовини. За типом армуючих наповнювачів сучасні композиційні матеріали (КМ) можуть бути розділені на дві групи: 1) дисперсно-зміцнені; 2) волокнисті.

Дисперсно-зміцнені композити являють собою матеріали, в матриці яких рівномірно розподілені дрібнодисперсні частинки. У цих матеріалах основне навантаження сприймає матриця, в якій за рахунок армуючої фази створюється структура, що ускладнює рух дислокацій. Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали являються ізотропними. Їх застосовують в авіації, ракетобудуванні та інших галузях машинобудування.

Волокнисті полімери можна класифікувати за типом армуючого наповнювача. При їх виготовленні, в якості арматури застосовуються високоміцні скляні, вуглецеві, борні, органічні волокна, металеві дроти, ниткоподібні кристали ряду карбідів, оксидів, нітридів та ін.

Армуючі матеріали використовуються у вигляді моноволокон, ниток, джгутів, сіток, тканин, стрічок, полотен. Волокнисті КМ можна розрізняти також за способом армування: орієнтоване і стохастичне (випадкове). У першому випадку композити володіють чітко вираженою анізотропією властивостей, у другому – квазіізотропні. Об'ємна частка наповнювача в волокнистих КМ становить 60 – 70 %.

За типом матриці композити розрізняють:

- полімерні (ПКМ);
- металеві (МКМ);
- керамічні (ККМ);
- вуглець-вуглецеві (ВВКМ).

Матриця забезпечує монолітність композиту, фіксує форму і розміри виробу, передає навантаження на волокна.

Серед полімерних КМ розрізняють композити на основі синтетичних смол (поліефірні, епоксіфенольні тощо) і термопластів (поліетілену, полівінілхлориду, капрону і ін.)

За способом виготовлення ПКМ можна розділити на отримані: викладкою, намотуванням, пресуванням та інші.

Металеві КМ за способом отримання ділять на ливарні і деформаційні. Ливарні отримують просоченням арматури розплавленим матричним сплавом або спрямованою кристалізацією, а для деформаційних КМ застосовують спікання, гаряче і вибуховий пресування, дифузійне зварювання, штампування, плазмове напилення та інше.

З точки зору механіки, композити можна розділити на силові, несилкові і спеціальні. Силові КМ піддаються вимогам високої міцності і жорсткості. Несилкові КМ використовуються для різних виробів побутового призначення

(огорожень, покриттів та ін.). У спеціальних КМ забезпечується досягнення певних фізичних властивостей (жароміцність, термостійкість, фрикційні властивості, ударостійкість, радіопрозорість та ін.) [3].

1.3 Класифікація дефектів деталей з ПКМ

Дефекти деталей і агрегатів з ПКМ можуть з'являтися в процесі їх виготовлення, транспортування, зберігання, виконання складально-монтажних робіт, а також в результаті впливу нерегламентованих навантажень і умов навколишнього середовища при експлуатації.

Класифікація дефектів, що допускаються до ремонту відповідними інструкціями на контроль і приймання деталей і агрегатів з ПКМ:

- а) подряпина (поріз) – щілинне нескрізне пошкодження поверхневого шару деталі;
- б) тріщина – щілинне наскрізне руйнування конструктивних елементів деталі;
- в) розшарування – порушення зв'язку між шарами армуючого наповнювача всередині багатошарових конструктивних елементів деталі;
- г) відшарування – порушення цілісності з'єднань в багатошаровій деталі між обшивкою і заповнювачем;
- д) пробоїна – місцеве наскрізне або одностороннє руйнування багатошарової деталі із заповнювачем;
- е) прокол – наскрізний отвір розміром до 6мм в обшивці деталі.

1.3.1 Виробничі та експлуатаційні дефекти полімерних композиційних матеріалів

Використання при виготовленні виробів з композиційних матеріалів недосконалого обладнання, система управління яким не забезпечує задану точність підтримки параметрів технологічного процесу, призводить до виникнення в структурі матеріалу конструкції різного роду дефектів, які викликають зниження фізико-механічних характеристик або збільшення їх розкиду, зниження несучої здатності конструкції та інші негативні ефекти.

Поява дефектів в конструкціях з композитів, що армовані безперервними волокнами або тканинними матеріалами, може бути пов'язана не тільки з відсутністю досконалого обладнання, але і з низкою інших причин, пов'язаних із суб'єктивними факторами (порушенням технологічного процесу, забрудненістю ділянки формування структури матеріалу та ін.).

Виготовлення конструкцій з просторово-армованих вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів (ВВКМ) є складним, тривалим, багатоступеневим процесом і залежить від десятка технологічних параметрів, зміна будь-якого з яких може призвести до незворотних порушень заданої структури. Наявність структурних дефектів часто стає вирішальним фактором, що визначає працездатність конструкцій, особливо в екстремальних умовах високошвидкісного температурного навантаження та жорстких вимог до абляційної стійкості матеріалів [4].

Для проведення аналізу дефектів, що зустрічаються в конструкціях з полімерних композитів, зручно представити їх у вигляді блок-схеми, розділивши на різні групи за відносними розмірам та іншим параметрам (рис. 1.2). При цьому підході дефекти поділені на два великі класи: виробничі дефекти, які з'являються в конструкціях або в процесі їх виготовлення, або в процесі виготовлення складових компонентів, і експлуатаційні пошкодження, що виникають в конструкції в процесі її експлуатації. Крім цього виробничі дефекти можуть бути розділені на три групи: мікродефекти, мінідефекти та макродефекти.

Мікродефекти – це дефекти, розміри яких можна порівняти з розмірами армуючих елементів (елементарними волокнами) або з товщиною зв'язуючого між цими елементами. До мікродефектів можна віднести дефекти, що виникають в елементарних армуючих волокнах, в прошарках, що пов'язують ці волокна, а також на границі розподілу волокно - матриця.

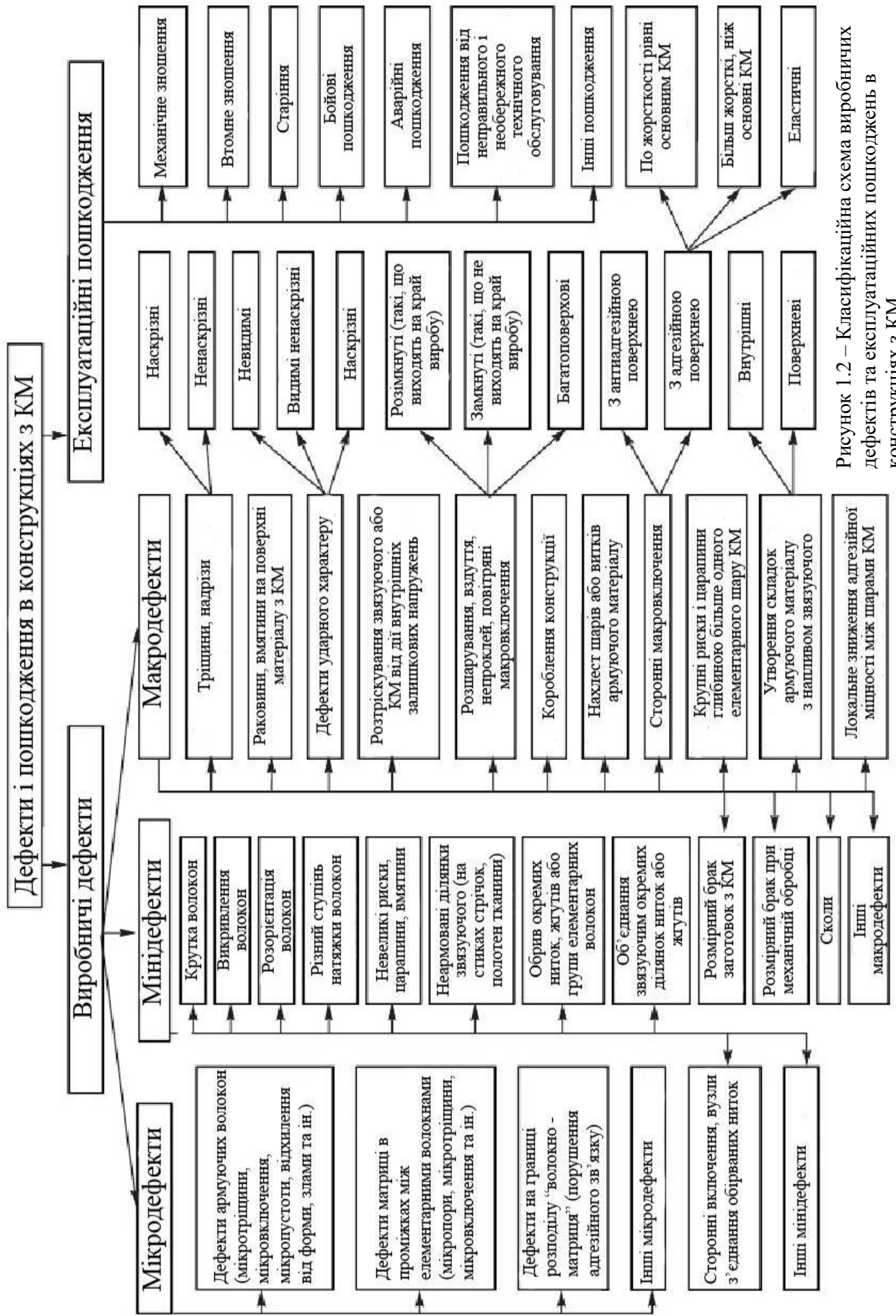


Рисунок 1.2 – Класифікаційна схема виробничих дефектів та експлуатаційних пошкоджень в конструкціях з КМ.

Найбільш характерними дефектами цієї групи можна назвати мікропори, мікротріщини, включення сторонніх кристалів у структуру елементарних волокон, викривлення фібрил, розорієнтацію мікрофібрил та ін. Мікроскопічні дослідження дефектів армуючих елементарних волокон показали, що на поверхні скляних волокон є тріщини глибиною 10^{-7} м, шириною $2 \cdot 10^{-7}$ м і довжиною до $5 \cdot 10^{-5}$ м. Для борних волокон діаметром 10^{-4} м характерні пори і тріщини розміром до $8 \cdot 10^{-6}$ м, а також включення великих кристалів металевого бору в борну оболонку волокна. Тріщини, що зустрічаються на поверхні вуглецевих волокон, складають в довжину $2 \cdot 10^{-7}$ – $1 \cdot 10^{-6}$ м, а в ширину $1 \cdot 10^{-8}$ – $2 \cdot 10^{-7}$ м. Розорієнтація окремих вуглецевих шарів (мікрофібрил) у волокнах досягається 17-23 %.

Міні-дефекти – це дефекти, розміри яких можна порівняти з розмірами товщини елементарного шару композиційного матеріалу. Вони зустрічаються у вигляді структурних недосконалостей і порушень суцільності в елементарних шарах матеріалу. До них можна віднести:

- риси і подряпини, рівні товщині елементарного шару;
- порушення адгезійних зв'язків на межі розподілу волокно-матриця;
- хвилястість і крутку армуючих волокон, розорієнтацію та їх викривлення;
- нерівномірний розподіл зв'язуючого в елементарному шарі композиту;
- різний ступінь натягу армуючих волокон або ниток;
- обриви окремих елементарних волокон або ниток та інші дефекти.

Міні-дефекти пов'язані або зі структурною будовою армуючого наповнювача, або виникають в процесі технологічної переробки складових компонент композиційного матеріалу у виріб. До найбільш характерних структурних міні-дефектів, що виникають у конструкціях при їх виготовленні можна віднести крутку елементарних волокон в нитках, регулярні і випадкові викривлення ниток, розорієнтацію армуючих волокон. Наявність цих дефектів в структурі матеріалу є однією з причин того, що його фізико-механічні характеристики у виробках значно відрізняються від подібних характеристик

таких самих елементарних волокон. Крутка елементарних волокон, як відомо, використовується для підвищення технологічності переробки ниток і джгутів у виробі. При цьому усувається розпушування елементарних волокон і зменшується їх обривність. Однак, поряд з цим, вона призводить до зниження ступеня реалізації пружних і міцнісних показників волокон в композиційному матеріалі, яке позначається при крученні високомодульних волокон (борних і вуглецевих).

Розорієнтація армуючих волокон пов'язана з їх відхиленням від заданого напрямку в процесі технологічної переробки при виготовленні конструкцій і зазвичай пов'язана з недосконалістю технологічного устаткування або оснащення.

Регулярні викривлення армуючих волокон властиві в основному тканинним наповнювачам і визначаються параметрами їх переплетення. На відміну від регулярних викривлень випадкові викривлення є в основному наслідком недосконалості технологічного процесу і найбільш часто виникають при виготовленні конструкцій методом пошарового намотування з подальшим обпресуванням при термообробці, а також в процесі пресування виробів в замкнутій формі через неточності розмірів заготовок, які закладаються в неї. Випадкові викривлення викликають місцеве зниження жорсткості матеріалу і являються найбільш небезпечними в конструкціях, які працюють на стійкість.

Найбільш характерні міні-дефекти, пов'язані з порушенням суцільності структури композиційних матеріалів, це пори і міні-тріщини в матриці. Поява пор пов'язана з наявністю в зв'язуючому великої кількості розчинника або вологи, з неправильним вибором режимів термообробки (велика швидкість нагріву, низький тиск). Крім цього, на етапі просочення матеріалу при мокрому методі формування його структури, можуть утворитися повітряні бульбашки, що замикають канали між волокнами і перешкоджають капілярному руху зв'язуючого по них. Особливо велика кількість дрібних

бульбашок, пор і раковин виникає при ручному викладенні конструкцій з тканини, просоченої поліефірним зв'язуючим.

Аналіз композиційних матеріалів з різною пористістю показує, що зі зростанням довжини пор і їх вмісту, ступінь реалізації міцнісних і пружних параметрів армуючих волокон в композитах зменшується. Причому, найбільш небезпечні витягнуті пори, довжина яких перевищує критичну довжину елементарного волокна в композиційному матеріалі. Особливо пористість позначається на опорі шаруватих матеріалів зсувними навантаженням і в меншій мірі – згинальним і розтягуючим.

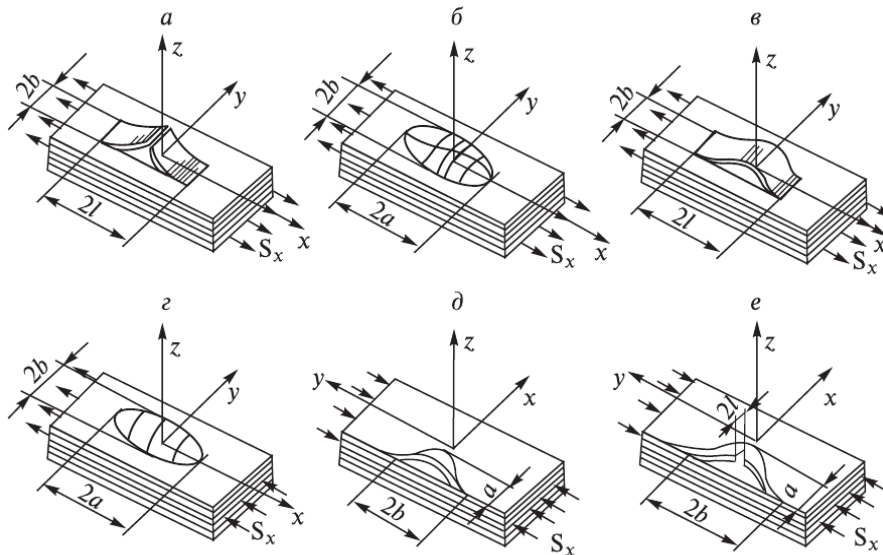
Поряд з цим, пори є концентраторами напружень в матриці і при зовнішньому впливі на конструкцію або виникненні внутрішніх залишкових напружень у матеріалі, пори можуть бути джерелами утворення мікро- і міні-тріщин як в самій матриці, так і вздовж межі розподілу волокно - матриця [7].

1.3.2 Дефекти типу відшарування і їх вплив на несучу здатність конструкцій

Конструкції з композитів дуже чутливі до технологічних дефектів, наприклад до розшарування, непроклеїв і тріщин, а також до дефектів, що з'являються повторно (наприклад, до надрізів поверхневих шарів). Дефекти типу розшарувань можуть з'являтися також на стадіях транспортування, зберігання та експлуатації.

Вони можуть викликатися температурними напруженнями, локальними навантаженнями, наприклад ударами по поверхні конструкції. Для поверхневого відшарування характерним є випинання тонкої відшарованої ділянки, що може відбуватися при стисненні, поверхневому нагріванні або розтягуванні.

Типові приклади відшарувань наведені на рисунку 1.3. Кожному типу відшарувань, відповідають свої критерії і границі стійкості [9].



а) відкрите відшарування при розтягу; б) еліпсоїдальної при розтягуванні; в) стисле в умовах циліндричного вигину; г) еліпсоїдальної при стисненні; д) кромкове відшарування; е) кромкове із вторинної тріщиною

Рисунок 1.3 – Приклади відшарувань в композитах

Зростання відшарувань в шаруватих композитах при довготривалих або циклічних навантаженнях відбувається стійко, якщо параметри відшарування належать області стійкості. Однак при тривалому навантаженні в матриці та армуючих елементах виникають розсіяні ушкодження, які знижують опір відшаруванню.

1.3.3 Структурні дефекти в просторово-армованих композитах та їх вплив на властивості матеріалів

Оптимальні для конкретних умов експлуатації фізико-механічні і теплозахисні властивості композиційних матеріалів практично повністю досягаються формуванням заданої просторової структури і залежать від ступеню відповідності реальної структури розрахунковим параметрам, тому наявність структурних порушень (дефектів) в композиті може стати вирішальним фактором, що визначає працездатність сучасних виробів.

Характерною особливістю структурних дефектів просторово-армованих композиційних матеріалів є те, що поряд з дефектами, властивими традиційним матеріалам (тріщини, раковини, пори, сторонні включення і т.д.),

можуть утворюватися дефекти, характерні тільки для даного виду композитів, пов'язані з особливостями структури армуючого каркасу і методу формування матриці. Причому характер дефектів, що виникають на різних етапах виготовлення матеріалу, істотно відрізняється один від одного.

На стадії виготовлення каркасів виникають дефекти, пов'язані з відхиленнями від наступних розрахункових параметрів структури: напрям укладання армуючих джгутів, періодичність розташування структурних елементів, відстань між джгутами і пакетами джгутів, об'ємний склад джгутів в кожному напрямку армування.

Дефекти, які утворюються на етапі формування матриці, пов'язані в основному з відхиленнями від розрахункового розподілу щільності кінцевого матеріалу, хоча і не виключені порушення структури армуючого каркасу, що виникають на різного роду підготовчих операціях. На цьому ж етапі можливе утворення, внаслідок порушення технологічних режимів насичення таких дефектів, як раковини і тріщини.

Дефекти типу «сторонні включення», зазвичай металевого характеру, можуть утворюватися на кожному етапі виготовлення виробів з композиційних матеріалів.

Крім того, дефекти при виготовленні деталей і вузлів з композиційних матеріалів можуть виникати в процесі механічної обробки. Найбільш типовими з них є відшарування, водопоглинання, структурні дефекти, руйнування армуючих волокон. Виникнення деструкцій шарів, значно погіршує експлуатаційні характеристики виробів з композитів.

На розмір та інтенсивність деструктивних процесів впливає головним чином теплота, що виділяється в зоні різання, і механічний вплив, що приводить до розриву ланцюгів полімеру. Товщина дефектного поверхневого шару матеріалу після механічної обробки складає 350 – 420 мкм [10].

Таким чином, завжди при механічній обробці композитів під дією великих локальних механічних напружень, високої температури, що перевищує теплостійкість органічних складових матеріалу, і інтенсивних

окислювальних процесів відбувається деструкція полімеру, що призводить до погіршення експлуатаційних властивостей поверхневого шару матеріалу.

Висновки до розділу 1

Методика оцінки показників якості роботи авіаційних спеціалістів при виконанні технологічного процесу ТО АТ основана здебільш в контролі та управлінні якістю діяльності авіаційних спеціалістів, підтримці їх в працездатному психофізіологічному стані, створенні умов для постійного підвищення якості роботи, включаючи й автоматизовані системи управління виробництвом.

В даному розділі роботи:

- проаналізовано ступінь використання композиційних матеріалів в сучасній авіаційній техніці;
- визначено основні фактори, що впливають на пошкодження полімерних композиційних матеріалів;
- проаналізовано основні дефекти, що виникають в полімерних композиційних матеріалах та причини, що впливають на виникнення цих дефектів;

На основі проаналізованих даних робимо наступні висновки:

- полімерні композиційні матеріали є важливим елементом сучасних ПС, пошкодження яких веде до значних наслідків, тому вони потребують періодичного та відповідного контролю;
- для продовження терміну служби певних елементів з ПКМ, необхідно виконувати комплекс заходів з відновлення цих конструкційних елементів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В даний час в практиці неруйнівного контролю ПКМ для виявлення дефектів знайшли застосування практично всі методи і способи, що традиційно застосовуються в умовах виробництва, випробувань і експлуатації деталей і агрегатів. Це оптичні, електричні, акустичні, радіаційні, магнітні, теплові, голографічні, мікрорадіоволнові і інші методи контролю.

Оптичні методи (інфрачервона та ультрафіолетова спектрометрія) широко використовуються в лабораторній практиці полімерів, застосування їх в неруйнівному контролі ПКМ приділяється мало уваги. Це пояснюється в першу чергу складністю фізичної картини взаємодії світла з такою неоднорідною середовищем, як сучасні ПКМ [17, 18].

Теплові методи засновані на взаємозв'язку між складом і теплофізичними характеристиками ПКМ, переважно теплопровідністю, завдяки наявності великої кількості аналітичних формул, що пов'язують теплопровідність композитів з їх структурою [19, 20].

В основі радіаційних методів контролю ПКМ лежать процеси взаємодії проникаючого низькоенергетичного випромінювання (як правило, рентгенівського) з речовиною [21].

Найбільш широке поширення отримав ультразвукової і радіаційний методи контролю.

Ефективність застосування тієї чи іншої системи неруйнівного контролю визначається рядом факторів (рис. 2.1) [22], з яких основними є фактори, що визначають достовірність результатів оцінки якості (технічного стану) контрольованого об'єкта і продуктивність контролю.



Рисунок 2.1 – Фактори, що визначають ефективність системи неруйнівного контролю

Аналіз вищевказаних чинників показує, що найбільш перспективними, стосовно до систем неруйнівного контролю ПКМ є системи, що базуються на використанні ультразвукового методу контролю, як методу володіє найбільшою чутливістю і інформативністю по відношенню до характерних технологічним і експлуатаційним дефектів в ПКМ. Отримана з використанням даного методу контролю інформація про розмір, площі і орієнтації дефекту в просторі, дає можливість побудови якісного зображення для подальшої оцінки працездатності і ресурсу конструкції з ПКМ. Безсумнівною перевагою застосування систем ультразвукового методу неруйнівного контролю є можливість автоматизації процесу контролю, використовуючи при цьому досить відомі на практиці рішення в побудові відповідних систем.

2.1 Методи виявлення та оцінки дефектів

Наявність дефектів в деталях і агрегатах з ПКМ встановлюється службами ВТК підприємства після виготовлення деталей, механічної обробки, склеювання, клепки та виконання складання агрегатів, а також при технічному обслуговуванні в умовах експлуатації.

Для виявлення та класифікації дефектів при контролі деталей і агрегатів з ПКМ застосовують неруйнівні методи контролю.

Виявлені дефекти маркуються на деталі або конструкції кольоровим м'яким олівцем до замикання лінії, що обмежує зону дефекту. Площу дефектів доцільно вимірювати за допомогою сітки, нанесеної на трафарет з прозорого матеріалу.

Перед проведенням дефектоскопічного контролю неруйнівними методами із застосуванням приладових засобів всі контрольовані деталі піддають візуальному контролю.

Розміри, кількість і розташування дефектів, що мають місце на деталях чи конструкціях з ПКМ, які допускаються або підлягають усуненню шляхом ремонту, регламентуються інструкціями з контролю і приймання агрегатів і деталей з композиційних матеріалів відповідних модифікацій літаків.

При виготовленні конструкцій з композиційних матеріалів, досконалість технології визначається вибором оптимальних параметрів технологічного процесу, технічним рівнем використовуваного устаткування і оснащення, наявністю надійних методів неруйнівного контролю як самої конструкції, так і напівфабрикатів для їх виробництва. В даний час технологія виробництва елементів ЛА з КМ розвивається вражаючими темпами практично у всіх промислово розвинених країнах [21]. Надійність будь-якої конструкції визначається правильним вибором проектних даних і стабільністю технологічних параметрів в процесі виготовлення, достатністю контрольних операцій та можливістю ремонту в процесі контролю виробів.

Недосконалість технологічного обладнання, що використовується для отримання вихідних компонентів КМ (ниток, стрічок, тканин, особливо вуглецевих), а також для переробки їх у виріб, низький рівень автоматизації цього устаткування, мінливість параметрів технологічного процесу одержання композиційних матеріалів, недостатній контроль за параметрами технологічного процесу при отриманні препрегів, формуванні пакету КМ, термообробці, механічній обробці, призводять до появи різного роду виробничих дефектів, що

знижують несучу здатність і працездатність конструкцій, що виготовляються. Особливість композитів в тому, що вони не є матеріалом у класичному розумінні цього слова, таким як, наприклад, метали, фактично це конструкція, що створюється в процесі виготовлення виробу. При цьому композити виконані з одного і того ж наповнювача (волокна) і матриці за однаковою технологією, можуть мати різні фізико-механічні характеристики, які здатні змінюватися в широкому діапазоні за рахунок вибору числа напрямків армування і об'ємних часток волокна в кожному напрямку армування.

Нестабільність технологічних процесів виготовлення конструкцій з композиційних матеріалів, пов'язана з новизною і складністю їх реалізації, ставить на перший план проблеми якості продукції, що випускається.

Забезпечення контролю якості всього обсягу продукції можливе лише за умови застосування методів і засобів неруйнівного контролю (НК), які відносяться до числа найбільш пріоритетних напрямів науково-технічного прогресу. Існує чотири найбільш важливих напрями розвитку неруйнівного контролю та діагностики: інтелектуалізація методів і засобів контролю та діагностики, розробка єдиної системи контролю якості технічних об'єктів і навколишнього середовища, удосконалення діагностичних технологій, організаційне забезпечення неруйнівного контролю та діагностики на міжнародному рівні [19].

У комплексі дій, спрямованих на забезпечення надійності і довговічності конструкцій, що розробляються із композиційних матеріалів, використання високоефективних методів неруйнівного контролю має вирішальне значення, оскільки найменша помилка у визначенні характеру дефекту або його пропуск можуть призвести до прикрих наслідків. Незважаючи на існуючі різноманітні методи і засоби НК, до цих пір вони не можуть задовольняти окремо потреби сучасного виробництва.

Аналіз катастроф та їх зв'язку з конструкційними аспектами вимагає цілеспрямованої роботи з вивчення обставин руйнувань, їх причин і супутніх

факторів, виявлення визначальних процесів, оцінки параметрів і діапазонів їх безпечних змін. Дослідження такого плану здійснюються з різних теоретичних і концептуальних позицій з використанням різних інформаційних технологій. Вивчається вплив особливостей конструктивного виконання, технології виготовлення, характеру навантажень і впливів. Велика увага приділяється оцінці ефективності застосування високоміцних матеріалів, методів неруйнівного контролю, різних обмежувачів навантажень, живучості конструкцій в умовах аварій, застосовуваних методів розрахунку міцності та ресурсу. Зазвичай дослідження цього напрямку базуються на традиційних методах будівельної механіки і теоріях конструкційної міцності [21].

Особливо розглядаються питання механіки, фізики і хімії деградаційних процесів, що призводять у зв'язку із незворотними змінами та ушкодженнями в структурі матеріалів до зниження міцності, утворення та зростання тріщин, а також до катастрофічних відмов конструкцій. Характер деградаційних процесів та їх роль у формуванні руйнувань істотно залежать від типу технічної системи. Наприклад, для балонів тиску і ємкостей високого тиску, основними причинами вважаються механічна втома, дефектність виготовлення та корозійні процеси в металевих фрагментах конструкції. Отже, дефектність конструкції та наявність тріщин і розшарувань залишаються визначальними джерелами руйнувань.

Іншою важливою стороною забезпечення якості виробів з композитів є розробка та обґрунтування допустимості спеціалізованих технологій ремонту створюваних конструкцій з урахуванням специфіки структурних і технологічних дефектів. Реалізація цієї проблеми забезпечує значне підвищення виходу придатної продукції в умовах дефіциту вихідних матеріалів і високої вартості кінцевої продукції [20].

У роботі досліджуються і розробляються питання, пов'язані з технологічними процесами контролю якості, виготовлення та ремонту конструкцій з композиційних матеріалів. Широке застосування конструкцій з композитів вимагає розробки нових методів і засобів неруйнівного контролю для

здійснення безперервного контролю безпосередньо в процесі формування композиційних матеріалів і виробів з них. Аналіз існуючих структурних дефектів в композиційних матеріалах і технологічних дефектів в конструкціях дозволяє розробити науково обґрунтовані технології ремонту, що забезпечують необхідну надійність створюваних виробів.

2.2 Вимоги до методів контролю

Забезпечення високої якості та надійності виробів з КМ неможливо без застосування ефективних сучасних методів контролю на всіх стадіях виробничого циклу: проектування, виготовлення, експлуатації. При цьому кожній стадії відповідають свої методи контролю [23]. Найбільш ефективні неруйнівні фізичні методи контролю якості, які застосовуються на стадії як виготовлення, так і експлуатації виробів. Слід зазначити, що найбільший ефект від НМК досягається при застосуванні його в дрібно-серійному та середньо-серійному виробництві великогабаритних виробів, коли можливий повний контроль якості. У крупносерійному виробництві більш ефективні статистичні методи вибіркового контролю, при цьому методи контролю якості поділяються за кількісними, якісним або альтернативним ознаками.

До кількісних методів контролю відносять такі, які дозволяють реєструвати точні чисельні значення параметрів, визначають якість виробу. Якісні методи дозволяють виділити лише категорії, класи (сортність, придатний, непридатний і т.д.), до яких належить контрольований виріб. У тому випадку, коли вироби поділяються на придатні або дефектні, здійснюють контроль за альтернативною ознакою (існують окремі випадки контролю за якісною ознакою).

Визначення відповідності виробу даними умовами (за розмірами, фізико-механічними властивостями, структурою матеріалу, станом поверхні – шорсткістю, наявністю тих чи інших дефектів тощо) здійснюється шляхом проведення відповідних вимірювань або контролю, тому методу контролю відводиться виняткова роль [24].

Основні вимоги, що висуваються до контролю, полягають в наступному:

➤ ймовірність того, що якісний виріб буде відбраковано, повинна мати певне значення, яке буде визначатися чутливістю і точністю застосовуваних методів і обладнання;

➤ ймовірність прийняття виробів низької якості (дефектних) повинна мати певне значення, залежне від кваліфікації контролерів, ефективності застосовуваних методів та обладнання;

➤ обраний метод або обладнання повинні забезпечувати безперервність проведення контролю технологічних процесів;

➤ метод і обладнання повинні забезпечувати суцільний контроль всіх виробів, що випускаються.

Контроль за ознаками може бути руйнівним, неруйнівним, аналітичним, метрологічним (перевірочним) [17]. В даний час найбільш широке поширення одержали руйнівні та аналітичні методи. Їхня основна перевага полягає в тому, що вони дають можливість визначити об'єктивні абсолютні параметри матеріалів і виробів. Такий важливий параметр виробу як міцність, найбільш об'єктивно визначається шляхом його руйнування з дотриманням режимів навантаження, виду навантаження та забезпечення умов навколишнього середовища (температура, вологість).

Метрологічний контроль служить в основному для контролю методів контролю і спрямований на визначення точності і чутливості застосовуваних методів та обладнання.

Неруйнівні фізичні методи контролю (НФМК) останнім часом все більш активно починають використовуватись у виробництві виробів з КМ. Вони цілком задовольняють всі вимоги, що стосуються контролю, і не мають недоліків, властивих руйнівним і аналітичним методам. Існує 10 видів неруйнівного контролю: акустичний, капілярний, магнітний, оптичний, радіаційний, радіохвильовий, тепловий, течешуку, електричний, електромагнітний (вихрових струмів) [18]. Кожен із зазначених видів поділяється на велику кількість методів.

До НК висувають такі основні загальні вимоги:

- можливість здійснення ефективного контролю на різних стадіях виготовлення, в експлуатації і при ремонті виробів;
- можливість контролю якості продукції по більшому числу заданих параметрів;
- узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;
- висока достовірність результатів контролю;
- можливість механізації і автоматизації контролю технологічних процесів, а також управління ними з використанням сигналів, що генеруються засобами НК;
- висока надійність дефектоскопічної апаратури і можливість використання її в різних умовах;
- простота методики контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту та експлуатації.

Точність і чутливість неруйнівних методів контролю залежать від точності і чутливості методів, за допомогою яких проводиться їх тарування, і оптимальності обраного порівняльного еталону. Звідси найважливішими завданнями неруйнівного контролю є аналіз фізичних основ взаємодії використовуваних випромінювань (ультразвуку, радіохвиль, радіації, магнітних і електричних полів та ін.) з контрольованим середовищем і розробка методики контролю конкретних параметрів технологічних процесів і готових виробів при їх виготовленні й експлуатації.

2.3 Аналіз ефективності методів контролю якості

Вибір того чи іншого методу контролю якості визначається наступними факторами [21, 24]:

- агрегатним станом контрольованого середовища (газоподібний, рідкий, твердий);
- фізичним станом контрольованого середовища (діелектрик, напівпровідник, магнетик, парамагнетик тощо);

- видом структури контрольованого середовища (аморфна, монокристалічна, полікристалічна, неоднорідна, ізотропна або анізотропна і т.д.);
- здатність взаємодіяти з робочим випромінюванням (слабке або сильне поглинання, слабке або сильне розсіювання і т.д.);
- методологією контролю (у вакуумі, в рідині, при високій температурі, під великим тиском і т.д.);
- розміром, конфігурацією і конструктивними особливостями об'єкта контролю (мало-, середньо-, великогабаритний, простий або складної форми, одно- або багат шаровий і т.д.);
- видом розв'язуваної задачі (дефектоскопія, товщинометрія, діагностика міцності, контроль напружено-деформованого стану, контроль вмісту компонентів та ін.).

Композиційні матеріали – дуже складний об'єкт контролю, тому що характеризуються істотною неоднорідністю структури, анізотропією властивостей, великою різноманітністю типів армування (односпрямований, поздовжньо-поперечний, комбінований тощо), специфічними фізичними властивостями: високими електроізоляційними якістьми, низькою теплопровідністю, звукоізоляцією, великим розкидом фізико-механічних характеристик, малими значеннями щільності ($0,02 - 2,0 \text{ г/см}^3$). Більшість видів композиційних матеріалів залежно від використаного виду наповнювача відносяться до діелектриків або погано провідних структур. Практично всі композити є немагнітними матеріалами, тому методи контролю, які використовуються при дефектоскопії виробів з металу переважно магнітні й вихрострумний, в більшості випадків не підходять для дефектоскопії виробів з композиційних матеріалів. Однак ці методи можуть бути застосовані для товщинометрії таких виробів. Не ефективні для контролю композитів також високочастотні ультразвукові методи, так як ультразвукові хвилі з частотою вище 1 МГц або неможливо ввести в контрольоване середовище через їх сильне

поглинання і розсіювання та суттєвої шорсткості поверхні, або вони значно обмежують діапазон контрольованих значень товщини [24].

Радіаційні методи більш ефективні для контролю щільності або товщини композитів, ніж для дефектоскопії, так як чутливість їх дефектації даними методами за рівнозначної енергії випромінювання в 3-4 рази нижче чутливості дефектації сталі. Слід також зазначити, що для цього методу контролю композити можуть знаходитися як в твердому, так і в пастоподібному (напівфабрикат), рідкому або гелеподібному станах [25].

В результаті аналізу та оцінки ефективності існуючих методів неруйнівного контролю встановлено, що найбільш ефективними при неруйнівному контролі композитів є наступні:

- - низькочастотний ультразвуковий імпульсний;
- - радіаційний;
- - інфрачервоний оптичний;
- - теплотричний;
- - електричний.

Основні критерії, що обумовлюють вибір даних методів контролю:

- - безпека для обслуговуючого персоналу, чутливість контролю;
- - точність і відтворюваність результатів контролю;
- - можливість механізації і автоматизації контролю;
- - забезпечення високої продуктивності контролю;
- - порівняно простота методика контролю;
- - інформаційна спроможність і універсальність контролю;
- - наявність і можливість використання серійної апаратури;
- - порівняно невисока вартість контролю;
- - можливість виконання контролю персоналом невисокої кваліфікації.

Зазначені методи контролю можна використовувати як індивідуально, так і в комплексі [26]. Слід враховувати, що збільшення кількості використовуваних методів поряд з підвищенням чутливості та інформативності контролю

призводить також до підвищення вартості і зниження продуктивності контролю. Найбільш ефективним комплексом може бути сукупність низькочастотного ультразвукового та радіохвильового методів або низькочастотного ультразвукового та електричного методів. З підвищенням вимог до контролю число методів у комплексі може зростати. У цьому випадку оптимальним буде поєднання низькочастотного ультразвукового, радіохвильового і теплометричного методів [20].

Вибрані методи дозволяють визначати безпосередньо у виробі велику кількість різних фізичних характеристик:

- швидкість і затухання пружних хвиль;
- коефіцієнти проходження, відображення і заломлення даних пружних хвиль;
- кут повороту площини поляризації зсувних хвиль;
- електропровідність;
- діелектричну проникність і тангенс кута електричних втрат; коефіцієнти загасання, проходження, відображення і заломлення електромагнітних хвиль інфрачервоного діапазону;
- коефіцієнти теплопровідності та ін.

Дані характеристики, що визначаються безпосередньо у виробі, можуть бути використані для прямої і непрямой оцінки таких параметрів, як міцність і жорсткість виробів, міцність і пружні властивості матеріалу, щільність, структура, складові компоненти, в'язкість, ступінь твердіння, геометричні розміри, вологість, напружено-деформований стан та ін [27].

Таким чином, при комплексному контролі вирішується ряд завдань:

- визначається оптимальний комплекс фізичних параметрів, за якими оцінюються міцність і інші фізико-механічні характеристики композиту і виробів на їх основі;
- розробляється і здійснюється оптимальний комплекс методів і засобів контролю дефектів структури;

➤ дається оцінка працездатності виробу за комплексом параметрів, визначених неруйнівними методами.

Визначення вказаних характеристик у процесі переробки композитів у виробі дозволяє усунути причини, що викликають порушення структури, утворення дефектів і нерівномірність розподілу властивостей матеріалу у виробі.

2.4 Вибір методів неруйнівного контролю

Із забезпеченням своєчасного виявлення структурних дефектів, необхідність у відповідних фізико-механічних характеристиках зменшується, це і є однією з найбільш актуальних проблем досягнення високої якості виготовлених конструкцій. Вирішення цієї проблеми можливе лише за умови оптимального вибору та застосування найбільш ефективних методів і засобів контролю якості [28].

Для вибору ефективних методів контролю якості необхідно враховувати фізико-механічні властивості матеріалів, характерні особливості внутрішньої структури і структурних дефектів, геометричні параметри виробів (форму, розміри, перепади товщини), стан поверхні виробу, умови проведення контролю, особливості технології виготовлення виробів.

Враховуючи, що виготовлення конструкцій відбувається в кілька етапів, на кожному з яких можливе утворення дефектів, характерних для даної технологічної стадії, необхідне проведення контролю якості на всіх етапах з метою своєчасного усунення, якщо це можливо, виявлених дефектів, або виключення подальшого застосування дефектного матеріалу в технологічному ланцюгу. Так, якщо при виготовленні силового каркасу необхідно контролювати порушення заданої схеми армування, то при заповненні каркасу матрицею потрібно досліджувати розподіл щільності матеріалу в обсязі заготовки. Після механічної обробки отриманої заготовки може виникнути необхідність визначити відхилення від заданих геометричних розмірів конструкцій, особливо, якщо вона складної конфігурації і виготовлена з матеріалу, що володіє заданою неоднорідністю щільності [25]. Слід особливо підкреслити, що утворені на ранніх

стадіях технологічного процесу дефекти, наприклад пропуски армуючих елементів, виявити в готовому виробі іноді практично неможливо.

При виборі методів і засобів контролю якості необхідно враховувати вимоги до них. При серійному виробництві потрібні методи, що володіють достатньою чутливістю для виявлення тільки неприпустимих дефектів (відповідно до технічних вимог на матеріал), раніше виявлених і класифікованих. Вони повинні бути доступні, прості і високопродуктивні [27]

В процесі відпрацювання технологій необхідних методів контролю (а в деяких випадках навіть комплексів методів), що дозволяють отримати повну інформацію про стан внутрішньої структури матеріалу і будь-яких її відхилень від розрахункових параметрів, визначити причини їх виникнення, а також ступінь впливу на фізико-механічні та теплофізичні властивості. Для цього застосовують передові методи різної складності. В особливих випадках необхідно розробляти нові методи, що дозволяють вирішити поставлені завдання.

Найважливішими характеристиками технічних можливостей методів контролю є чутливість і роздільна здатність, достовірність результатів контролю, надійність апаратури, вимоги з техніки безпеки і до кваліфікації фахівців з проведення контролю.

Чутливість методу визначається найменшими розмірами дефектів, що виявляються:

- у поверхневих дефектів – шириною розкриття біля виходу на поверхню, протяжністю в глиб матеріалу і по поверхні деталі;
- у глибинних дефектів – розмірами дефекту із зазначенням глибини залягання.

Порівняльні дані по чутливості деяких методів НК наведено в таблиці 2.1 [23].

Роздільна здатність дефектоскопа визначається найменшою відстанню між двома сусідніми мінімальними дефектами, для яких можлива їх роздільна реєстрація. Вимірюється вона в одиницях довжини або числом ліній на 1 мм.

Передбачається в технічних вимогах на оптичні прилади та радіаційні дефектоскопи. Для ультразвукових і вихрострумівих дефектоскопів може обумовлюватися лише при необхідності, для магнітних методів – не вказується.

Достовірність результатів контролю визначається ймовірністю пропуску деталей з явними дефектами або необґрунтованим бракуванням придатних деталей.

Таблиця 2.1 –Чутливість методів неруйнівного контролю

Метод неруйнівного контролю	Мінімальні розміри поверхневої тріщини, що виявляються, мм		
	Ширина розкриття	Глибина	Протяжність
Візуально-оптичний	0,005 – 0,001	–	0,1
Кольоровий	0,001 – 0,002	0,01 – 0,03	0,1 – 0,3
Люмінесцентний	0,01 – 0,03	0,1 – 0,3	2 – 3
Магнітно-порошковий	0,001	0,01 – 0,05	0,3
Вихрострумівий	0,0005 – 0,001	0,15 – 0,2	0,6 – 2
Ультразвуковий	0,001 – 0,03	0,1 – 0,3	–
Рентгенографічний	-	1,5 – 3 % від товщини	–
Радіаційний	-	4 – 6 % від товщини	–

Вимоги по техніці безпеки при застосуванні різних методів значно різняться. Наприклад, магнітний, ультразвуковий і вихрострумівий контроль не вимагають спеціальних заходів захисту. При капілярному контролі необхідний захист від рідин, парів і органічних розчинників, а також ультрафіолетового опромінення, а при радіаційному – від впливу іонізуючих випромінювань і утворення в повітрі шкідливих для організму людини газів – озону і оксидів азоту.

При виборі методу контролю конкретних деталей або виробів необхідно враховувати (крім специфічних особливостей і технічних можливостей кожного методу) такі основні чинники [28]:

- характер (вид) дефекту і його розташування;
- умови роботи деталей і технічні вимоги на відбраковування;
- матеріал деталі;
- стан і шорсткість поверхні;
- форму і розмір деталі, зони контролю;
- умови контролю.

Характер дефекту, наприклад поверхневі тріщини з малою шириною розкриття (0,5 – 5 мкм), можуть бути виявлені капілярним методом, а внутрішні приховані дефекти – радіаційним або ультразвуковим.

Дослідження умов роботи деталей (знакозмінні навантаження, робота в агресивному середовищі, при високих температурах, ерозійно-корозійний вплив) дозволяє визначити критичні місця конструкції і звернути на ці місця особливу увагу при виборі методу і проведення контролю.

Технічні вимоги на відбраковування визначають кількісні критерії та відіграють важливу роль при виборі методів, що забезпечують виявлення тільки небезпечних дефектів.

Фізичні властивості матеріалу деталей – постійно діючий фактор, що визначає в значній мірі вибір методу неруйнівного контролю. Так, для капілярних методів матеріал повинен бути непористим, стійким до впливу органічних розчинників [25]. Для ультразвукового контролю на тріщини матеріал повинен бути однорідним, мати пружні властивості та мати малий коефіцієнт загасання ультразвукових коливань. Деталі простої форми можна перевіряти всіма методами, а деталі складної форми і великогабаритні вироби контролюють, як правило, по частинах.

Визначення зон контролю є важливим фактором у виборі методу, так як знання їх полегшує розробку методики і виявлення дефектів. При цьому слід мати на увазі, що ультразвуковий контроль поверхневими хвилями не можливо застосувати, якщо в зоні перевірки є різкі переходи від одного перетину до іншого. Крім того, в зоні, що підлягає ультразвуковому контролю, як правило, не повинно бути отворів, заклепок, болтів та інших деталей, що відбивають ультразвукову енергію [29].

Для вихрострумового контролю радіуси галтельних переходів повинні бути не менше 2 мм, а для капілярного і магнітопорошкового методів у зоні контролю не повинно бути виступів з кутом менше 90 °, підрізів і напливів металу. Ширина

проточок, радіуси галтелей і отворів в зоні капілярного контролю повинні бути не менше 3 мм.

Чутливість методів, особливо магнітопорошкового та капілярного, залежить від шорсткості контрольованої поверхні та наявності на ній захисних покриттів. Для ультразвукового і капілярного методів шорсткість повинна відповідати 5-му класу, а для магнітного та вихрострумowego повинно бути не нижче 3-го класу. Для виявлення тріщин при капілярному контролі необхідно обов'язково видаляти лакофарбове покриття [28].

Більшість методів (магнітний, капілярний, вихрострумовий, ультразвуковий) можуть бути застосовані для контролю при доступі з одного боку підконтрольного об'єкту. Методи просвічування іонізуючим випромінюванням вимагають доступ з обох сторін деталі. При цьому з одного боку знаходиться джерело випромінювання, а з іншого – детектор [20].

Неруйнівний контроль якості дозволяє не тільки контролювати, але й керувати якістю продукції, передбачаючи її властивості, параметри, причини відмови виробів. Методи неруйнівного контролю не є універсальними, кожен з них має свою область найбільш ефективного застосування. Більшість методів вирішують досить вузьке коло дефектоскопічних завдань: забезпечують контроль виробів з певного матеріалу, розраховані на пошук дефектів певного виду, призначені для конструкцій певного розміру і форми, тому досягнення високої якості можливе тільки в разі застосування найбільш ефективних для кожної стадії виготовлення методів і засобів неруйнівного контролю.

Для вибору методу або комплексу методів контролю повинні бути визначені вид дефектів, що підлягають виявленню, об'єкти (зони) контролю, а також повинні бути задані критерії на відбраковування. За цими даними визначають можливі методи, що дозволяють вирішити поставлену задачу. Потім, приймаючи до уваги критерії на відбраковування, чутливість і специфіку методів, вибирають методи та засоби неруйнівного контролю для застосування. При рівній чутливості перевага надається тому методу, який простіший і доступніший в

конкретних умовах, у якого вища достовірність результатів контролю і продуктивність [21].

Вибрані методи контролю напівфабрикатів і деталей повинні фіксуватися в нормативно-технологічній документації.

У комплексі дій, спрямованих на забезпечення надійності і довговічності аерокосмічної техніки, дефектоскопія має вирішальне значення, оскільки найменша помилка у визначенні характеру дефекту або його пропуск можуть привести до серйозних наслідків. У зв'язку з цим проведення дефектоскопії можливо при дотриманні наступних умов:

- висока кваліфікація фахівців, які проводять контроль;
- необхідна якість використовуваної при контролі апаратури;
- відповідна технічна документація;
- досконалість методу, що забезпечує належний рівень якості контролю.

При цьому слід виділити особливості дефектації виробів аерокосмічної техніки: різноманітність матеріалів контрольованих деталей як за своєю природою, так і за властивостями; складність контрольованих деталей за формою і різноманітність за масою; в багатьох випадках – недостатньо технологічні доступи, що може викликати додаткові демонтажно-монтажні роботи; контроль багатошарових конструкцій деталей, що покриті захисними плівками і мають забруднену поверхню; своєчасне виявлення дефектів, що виникають в процесі експлуатації з різних причин - виробничі, конструктивні та інші.

Дефектація, тобто пошук дефектів за допомогою неруйнівних методів контролю, дозволяє забезпечувати заданий рівень надійності, досягати збільшення довговічності з високою ефективністю і продуктивністю. Засоби неруйнівного контролю призначені для виявлення дефектів типу несучільності матеріалу, контролю геометричних параметрів виробів, оцінки фізико-механічних властивостей матеріалу виробів. За допомогою дефектоскопів отримують інформацію у вигляді електричних, світлових, звукових та інших сигналів про якість контрольованих об'єктів.

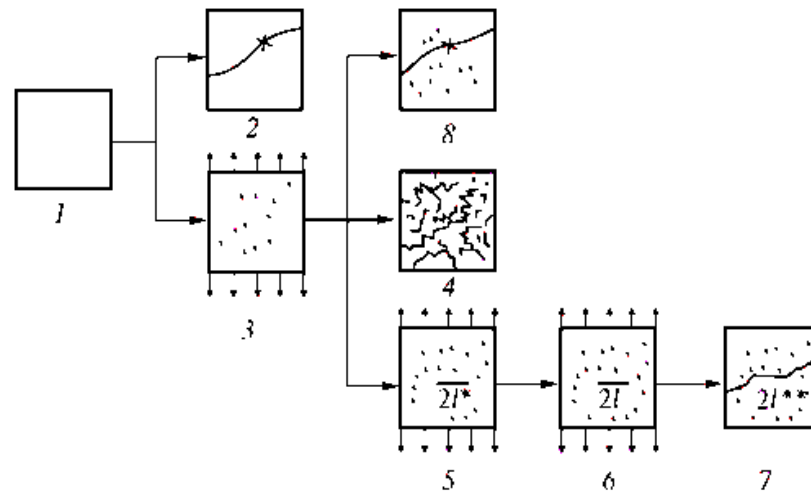
У промисловості існує п'ять видів контролю: операційний, суцільний, вибірковий, вхідний і приймальний. Операційний контроль – контроль виробів у процесі виконання або після завершення виробничої операції. При цьому контроль може бути суцільним або вибірковим, тобто перевіряється або кожен виріб, або пробний з партії. Приймальний контроль – контроль готової продукції. Вхідний контроль забезпечує контроль сировини, напівфабрикатів або виробів іншого виробництва [23].

При всіх видах контролю широко застосовується дефектоскопія, що базується на різних фізичних та фізико-хімічних явищах, на специфічності процесів взаємодії.

2.5 Дефектоскопія шаруватих конструкцій з полімерних композиційних матеріалів

Одним з основних напрямків механіки руйнування композитів слід вважати прогнозування тріщиностійкості, статичної та циклічної міцності композиту на основі відомих властивостей компонентів і проектованої структури композиту. Більшість композитів створюється на основі високоміцних армуючих елементів і матриці, що володіють досить високим ступенем деформативності. При руйнуванні армуючого елемента або при пошкодженні межі розподілу фаз відбувається перерозподіл напружень таким чином, що пошкодження локалізується у відносно малому об'ємі. Завдяки цьому ефективна міцність композиту в цілому практично не знижується, що є одним із його переваг у порівнянні з традиційними матеріалами [27]. У початковому стані в композитах є початкові дефекти тієї ж природи, що й мікропошкодження. Після прикладення навантаження, включаючи експлуатаційні, відбувається або крихке руйнування зразка, або йде процес накопичення мікроушкоджень. Якщо ввести поняття коефіцієнту структурної безпеки, то можна прогнозувати характер руйнування композиційного матеріалу по характеру складових цього коефіцієнту $k = \frac{E_2}{E_1}$ та

$k_1 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ (де E_1 та E_2 - модулі пружності армуючого волокна та матриці, а σ_1 та σ_2 - границі їх міцності відповідно). Рисунок 2.2 ілюструє ці уявлення для двох видів композитів: склопластику та вуглепластику.



- 1) початковий стан; 2) крихке руйнування; 3) накопичення мікропошкоджень; 4) руйнування внаслідок втрати цілісності; 5) утворення макроскопічної тріщини; 6) зростання макроскопічної тріщини; 7) фінальне руйнування в результаті зростання макроскопічної тріщини; 8) крихке руйнування як результат накопичення мікроушкоджень. * Характерний розмір тріщини. **Критичний розмір тріщини

Рисунок 2.2 – Схема етапів руйнування композитів:

Дефектоскопія шаруватих конструкцій пов'язана здебільшого із визначенням дефектів технологічного профілю, проте дослідження експлуатаційних дефектів, особливо для конструкцій багаторазового використання або тривалого зберігання, також є актуальними [29].

Технологія неруйнівного контролю конструкцій із шаруватих композитів визначається декількома параметрами, серед яких важливе місце займають габарити виробу, товщина силової оболонки, стан поверхні виробу та особливості технології виготовлення. Поряд з контролем якості вирішується і ряд завдань щодо прогнозування властивостей і параметрів конструкції, а також щодо можливих причин відмови виробів при експлуатації. Так як методи неруйнівного

контролю не є універсальними і кожен з них має свою область найбільш ефективного застосування, необхідно визначити головний напрям їх застосування: контроль виробів з певного матеріалу або пошук дефектів певного виду.

Для дефектоскопії шаруватих конструкцій можна застосовувати різні методи неруйнівного контролю, що базуються на певних фізичних явищах [23].

2.5.1 Візуальні та оптичні методи неруйнівного контролю

Ретельний візуальний огляд є одним з поширених методів неруйнівного контролю. Даним методом можна виявляти наступні дефекти: різницю відтінків (наслідок перегріву), сторонні вclusions, тріщини, подряпини, щербини, дефекти типу «апельсинова кірка» - шорстка фактура поверхні, точкову корозію, повітряні бульбашки, пори, напливи і непросочені ділянки, порожнечі і розшарування.

Спостереження можуть проводитися з використанням різного роду освітлення і приладів. Відбите світло використовується для визначення дефектів на поверхні; наскрізне просвічування (якщо матеріал може бути просвічений) дозволяє виявляти дефекти всередині зразків. Особливістю візуальних МНК є можливість виявлення тільки порівняно великих дефектів, що залежить від кваліфікації контролера.

Візуальні МНК застосовуються не тільки для армованих пластиків. Використання композитів в шаруватих конструкціях також вимагає застосування таких методів контролю. Візуальний огляд безпосередньо після затвердіння ще не охололих стільникових конструкцій дозволяє виявити бульбашки, непроклеювання або розшаровані ділянки.

Оптичний неруйнівний контроль – це вид неруйнівного контролю, що заснований на взаємодії світлового випромінювання з об'єктом контролю. Оптичне випромінювання (світло) – це електромагнітне випромінювання, в якому області спектру прийнято поділяти на ультрафіолетову, видиму та інфрачервону з довжинами хвиль відповідно 10^{-3} – 0,38; 0,38 – 0,78; 0,78 – 10^3 мкм.

Інформаційними параметрами оптичного випромінювання являються просторово-часові розподіли його амплітуди, частоти, фази, поляризації і ступеню когерентності. Для отримання дефектоскопічної інформації проводять вимір цих параметрів при взаємодії оптичного випромінювання з об'єктом контролю згідно з явищами, що визначають хвильову природу світла: інтерференцією, дифракцією, поляризацією, заломленням, відображенням, поглинанням, розсіюванням, дисперсією світла, а також зміною характеристик самого об'єкта під дією світла в результаті ефектів фотопровідності, люмінесценції, електрооптичних, механооптичних (фотопружність), магнітооптичних, акустооптичних та інших явищ.

Можливості очей людини не завжди дозволяють отримати достовірну інформацію про стан деталі, що піддається дефектації. Відстань об'єкту контролю, недостатня освітленість, обмежена контрастна чутливість і мала роздільна здатність зору людини роблять можливим застосування візуального контролю для виявлення великих видимих деформацій, тріщин з великою шириною розкриття і т.п. Оптичні прилади дозволяють набагато розширити межі природних можливостей очей. Візуальний контроль із застосуванням оптичних приладів називають візуально-оптичним. Він використовується для виявлення різних поверхневих дефектів, огляду закритих конструкцій, важкодоступних місць літаків і вертольотів. Оптичні засоби контролю використовують на різних стадіях ремонту і експлуатації авіаційної техніки [18].

Для огляду ділянок конструкції, не доступних прямому спостереженню (наприклад, внутрішньої порожнини камер згоряння, ділянок, закритих сусіднім елементом – нервюрою, балкою і т.п.), застосовують технічні ендоскопи, бороскопи, перископічні дефектоскопи. До окуляра оптичних приладів може бути приєднаний фотоапарат для реєстрації зображення, що дає можливість подальшого порівняльного аналізу.

На сучасних підприємствах при великому числі контрольованих деталей (наприклад, лопаток турбін) можуть застосовуватися оптико-електронні системи,

в яких використовуються фотоелементи або фотоелектронні перетворювачі. У таких пристроях зображення через канал інформації передається в електронну логічну систему аналізу та відбракування або за встановленими граничними умовами (розміри тріщини, пори і т.п.), або за принципом "Так - ні" (є дефект - немає дефекту).

2.5.2 Методи, що використовують акустичні хвилі

Класифікація акустичних методів контролю

Акустичний метод реєструє параметри пружних коливань, що збуджуються в досліджуваному об'єкті. Він дозволяє контролювати суцільність композиційних матеріалів, якість зварних і клеєних з'єднань. Точність вимірювань становить від 3 до 8 % від еквівалентної або умовної чутливості, що задається еталонними зразками. Акустичні методи дуже чутливі до форми контрольованих об'єктів (до сферичних, конічних) невеликих розмірів. Найбільше застосування при контролі якості виробів з композиційних матеріалів знайшли методи ультразвукової дефектоскопії, які дозволяють виявити розриви армуючих волокон, бульбашки повітря і скупчення смоли при контролі виробів різної форми [30].

Акустичні методи займають одне з провідних місць серед методів неруйнівного контролю і постійно вдосконалюються відповідно до розвитку техніки реєстрації та перетворення механічних сигналів у електричні та оптичні.

Акустичні методи поділяють на дві великі групи: активні, що використовують випромінювання і прийом акустичних хвиль, і пасивні, засновані тільки на прийомі хвиль. У кожній з цих груп можна виділити методи, що досліджують виникнення в об'єкті контролю біжучих і стоячих хвиль.

Активні методи, в яких застосовуються біжучі хвилі, поділяються на дві підгрупи, які використовують проходження і відображення хвиль [31]. Методи проходження припускають наявність двох перетворювачів – випромінюючого і приймального, які розташовуються по різні сторони від об'єкту контролю. Застосовують як безперервне, так і імпульсне випромінювання. До цієї групи відносяться такі методи дефектоскопії:

- тіньовий, заснований на зменшенні амплітуди хвилі, що пройшла крізь матеріал під впливом дефекту;
- тимчасової тіньовий, досліджує запізнювання імпульсу, що викликані огинанням дефекту;
- велосиметричний, що вивчає зміну швидкості пружних хвиль при наявності дефекту.

Методи відображення засновані на використанні як одного, так і двох перетворювачів, що працюють, як правило, на імпульсному випромінюванні. До цієї групи відносяться такі методи дефектоскопії [30]:

- ехометод, при якому реєструються ехосигнали від дефектів;
- еходзеркальний, який використовує дзеркальне відображення імпульсів від дефектів, орієнтованих вертикально до поверхні, з якої ведеться контроль;
- дзеркально-тіньовий, заснований на вимірюванні донного сигналу, тобто сигналу, відбитого від протилежної поверхні виробу;
- ехотіньовий і ехонаскрізний методи класифікуються аналогічно.

Методи проходження та відображення відрізняються також за типом реєстрованого параметру: амплітуди сигналу (тіньовий, дельтаметод); амплітуди і фази хвилі (акустична голографія в тіньовому та ехометоді, деякі варіанти велосиметричного методу); амплітуди і часу проходження імпульсу (ревербераційних метод).

При використанні стоячих хвиль порушуються вільні або вимушені коливання в об'єкті контролю в цілому (інтегральні методи) або в його частині (локальні методи). Стан об'єкту аналізується по власній частоті вільних коливань або по резонансу вимушених коливань [32].

На використанні стоячих хвиль базуються наступні методи акустичної дефектоскопії (рис. 2.3):

- локальний метод вільних коливань, коли в частині контрольованого виробу, наприклад, в слоїстій панелі, збуджуються коливання за допомогою вібратора і аналізується спектр збуджених частот;

- інтегральний метод вільних коливань, коли збуджуються вібрації в усьому виробі або в значній його частини;

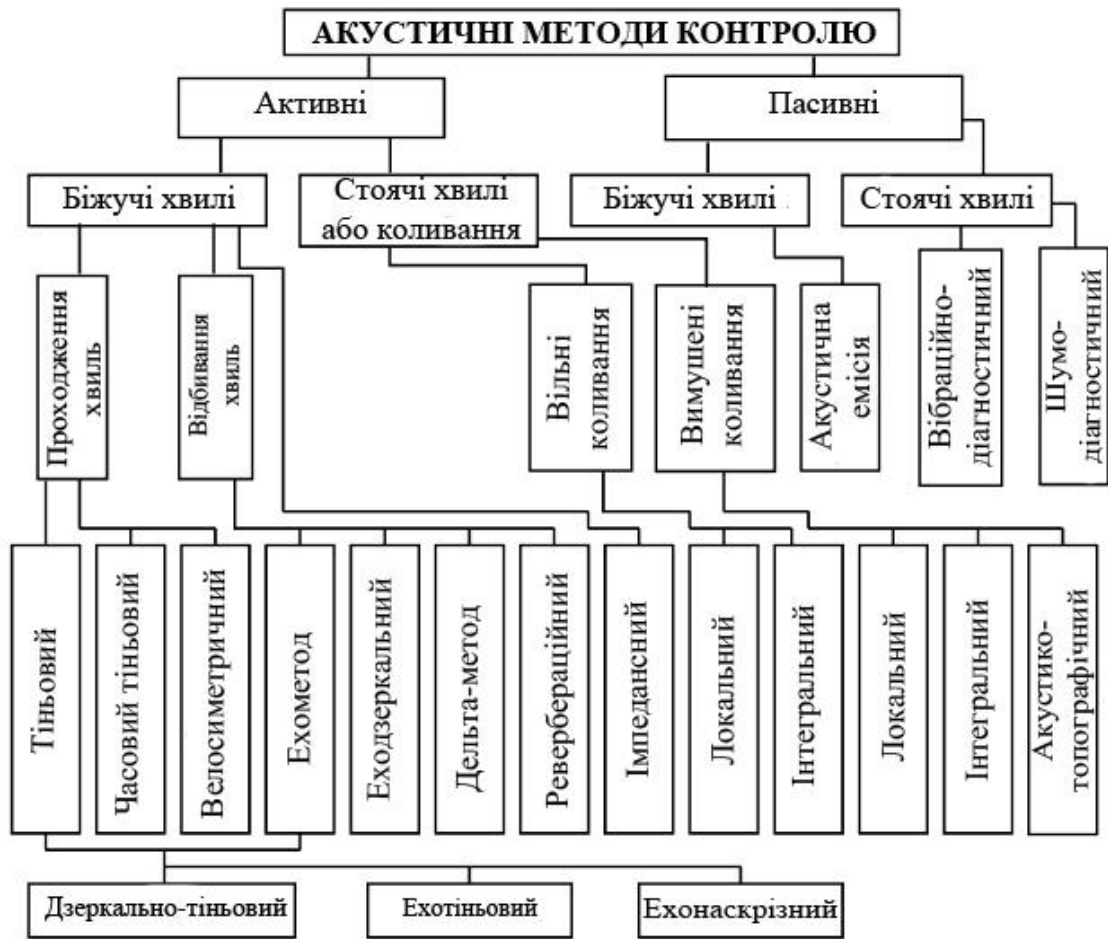


Рисунок 2.3 – Класифікація акустичних методів контролю

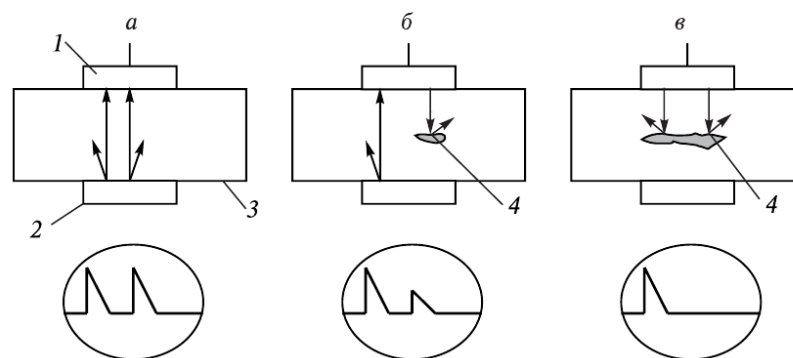
- інтегральний і локальний методи вимушених коливань, що застосовуються для визначення модулів пружності матеріалу по резонансних частотах поздовжніх, згинальних або крутильних коливань на поверхні контрольованого об'єкту, при цьому дефектна ділянка відрізняється збільшенням амплітуди коливань в результаті резонансних явищ [25].

Тіньовий метод. Іноді його називають методом наскрізного проникання. У цьому випадку випромінювач і приймач розділені, а дефект, що знаходиться на шляху ультразвукових хвиль послаблює сигнал, або затримує його прохід, оскільки при огинанні дефекту подовжується шлях пружної хвилі. Застосовується в основному для контролю прокату малої і середньої товщини, деяких гумових виробів (покришок коліс), для дослідження пружних властивостей полімерних

композитів, бетону, графіту і т.д. Як правило, умовою його застосування є двосторонній доступ до виробу. У випадку, коли ця умова не виконується, може бути використаний дзеркально-тіньовий метод або резонансний.

Дзеркально-тіньовий метод. Це різновид тіньового методу. В даному випадку обидва датчики встановлюються з одного боку контрольованого виробу. Інтенсивність пружних коливань реєструється після їх відображення від протилежної поверхні [24].

Ехоімпульсний метод. При цьому методі пружні коливання вводять за допомогою суміщеної пошукової голівки, яка посиляє імпульс і реєструє його після проходження по контрольованій деталі (Рис. 2.4). На екрані осцилографа при проходженні променів через деталь, яка не має дефекту, з'являться тільки два імпульси: початковий (відбиток від границі "перетворювач - деталь") і кінцевий,



- а) об'єкт дослідження не має дефекту; б) об'єкт має малий дефект, що шукає рівень реєстрованого сигналу; в) утворення акустичної тіні при великому дефекті; 1) випромінювач ультразвукових хвиль; 2) приймач ультразвукових хвиль; 3) досліджуваний зразок; 4) дефекти в зразку

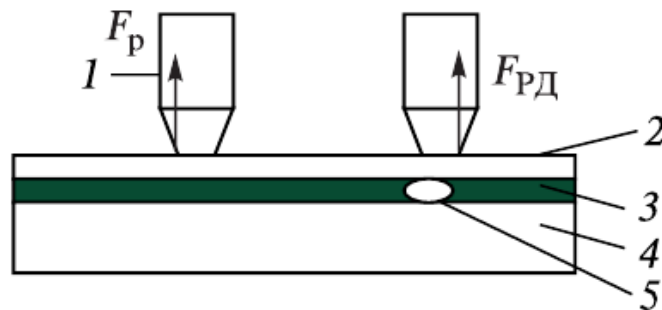
Рисунок 2.4 – Виникнення акустичної тіні при наскрізному прониканні або донний (деталь – повітряне середовище). Якщо на шляху випромінювання з'явиться дефект, виникає ще один імпульс, який свідчить про наявність перешкоди. При повному перекритті дефектом шляху випромінювання на екрані з'являться початковий імпульс і імпульс, який свідчить про наявність будь-яких несучільностей. Ультразвуковими методами чітко виявляються дефекти, але

часто виникають серйозні труднощі при визначенні їх розмірів і характеру, що має вирішальне значення для оцінки результатів контролю. Ультразвуковий контроль вимагає спеціальні навички і може застосовуватися тільки висококваліфікованим персоналом [32].

При цьому методі використовуються поверхневі нормальні і зсувні хвилі, які поширюються в досліджуваному матеріалі імпульсами, що чергуються один за одним через певні інтервали часу.

Імпедансний метод. Від розглянутих методів істотно відрізняється імпедансний. Він заснований на аналізі зміни механічного імпедансу ділянки поверхні контрольованого об'єкту, з яким взаємодіє перетворювач. Про зміну імпедансу судять за характеристиками коливань перетворювача (за частотою, амплітудою, фазою).

Заснований на залежності повного механічного опору (імпедансу) виробу пружним коливанням від якості зв'язків у контрольованому матеріалі [30]. Цим методом контролюють вироби, що мають кілька шарів (Рис. 2.5).



- 1) стержень датчика; 2) поверхневий шар тришарової конструкції; 3) клейовий прошарок; 4) основний шар матеріалу конструкції; 5) дефект непроклевання

Рисунок 2.5 – Імпедансний метод акустичної дефектоскопії

Стержень датчика здійснює поздовжні коливання і контактує з ділянкою поверхні шаруватого матеріалу. Якщо ділянка склеєного матеріалу без дефекту буде чинити опір коливанням, створюючи реакцію F_p , то над ділянкою з дефектом непроклею, реакція зменшиться до F_{pD} , так як жорсткість поверхневого шару на ділянці дефекту буде меншою ніж у попередньому випадку. Зусилля реакції фіксується індикатором. Імпедансним методом контролюють клейові і паяні

конструкції з металу і композитних матеріалів. Використовується даний метод тільки при сухому точковому контакті перетворювача з виробом.

Резонансний метод дефектоскопії та товщинометрії. При контролі цим методом (Рис.2.6) визначають частоти, на яких порушуються резонанс коливань в ділянці досліджуваного виробу (наприклад, по товщині стінки труби або листа). За резонансними частотам визначають товщину виробу [32]. На наявність дефекту вказує зменшення товщини, ослаблення або зникнення резонансів. Останнє відбувається у випадку, коли дефект розташований не паралельно поверхні виробу або спостерігається підвищення загасання ультразвуку.

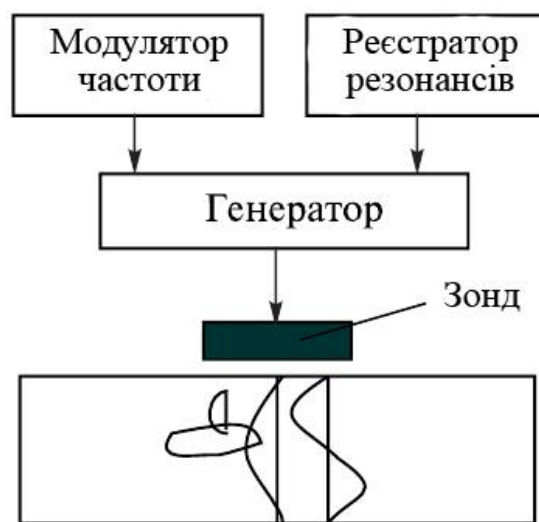


Рисунок 2.6 – Резонансний метод дефектоскопії та товщинометрії

Метод вільних коливань або спектральний. Заснований на аналізі спектру частот власних коливань виробу (Рис. 2.7), який вібрує після удару по ньому. Раніше цю операцію контролери виконували тільки на слух (наприклад, перевірка скляного посуду по дзвону), але в даний час розроблена апаратура, що дозволяє виділяти і кількісно аналізувати найбільш характерні частини спектру. Метод вільних коливань (з приладовою реєстрацією). Застосовується для тих же цілей, що й імпедансний.

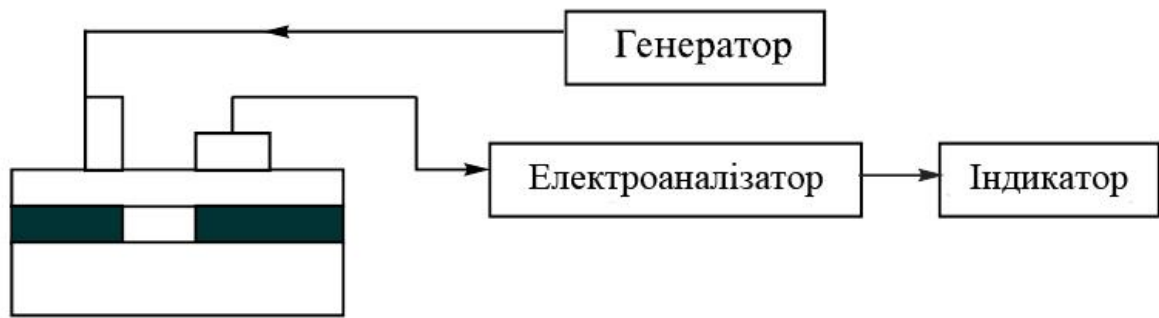


Рисунок 2.7 – Реалізація методу вільних коливань

Метод акустичної емісії. Реєструє пружні хвилі, що виникають в момент утворення або розвитку тріщини. У цьому випадку випромінювачем ультразвуку є утворення дефекту [33]. Слід зазначити, що навіть невеликі зміни структури матеріалу служать джерелом хвиль емісії. Ознака досягнення небезпечного стану конструкції – збільшення частоти проходження або амплітуди сигналів в певному діапазоні частот. Цим методом перевіряють зварні конструкції (ємкості підвищеного тиску, ферми мостів) в процесі зварювання, при міцнісних випробуваннях, а також під час експлуатації.

Шумно-вібраційний метод. Заснований на спостереженні спектру частот працюючого механізму або окремих його компонентів. Перетворювач, подібно медичному стетоскопу, притискають до окремих точках механізму, або він сприймає сигнали через повітря.

Акустичні коливання в залежності від частоти підрозділяють на інфразвукові (частота до 20 Гц), гіперзвукові (частота від $2 \cdot 10^{10}$ до $2 \cdot 10^{13}$ Гц) і ультразвукові (частота від $1,6 \cdot 10^4$ до 10^9 Гц). Акустичні хвилі викликають в пружному середовищі коливання його частинок відносно своїх положень рівноваги. Пружні коливання поширюються від частинки до частинки з певною швидкістю, що залежить від властивостей матеріалу прозвучування і виду акустичних хвиль. Залежно від напрямку коливань частинок по відношенню до напрямку поширення хвилі розрізняють поздовжні, поперечні (зсувні), поверхневі і нормальні хвилі. Хвиля називається подовжньою, якщо її напрям співпадає з напрямом пружних коливань частинок. Такі хвилі збуджуються в твердих, рідких та газоподібних тілах.

Крім пружності об'єму в твердому тілі існує пружність форми, тому в ньому можуть поширюватися поперечні (зсувні) хвилі. Хвиля називається зсувною, якщо її напрямок перпендикулярний напрямку коливань частинок. В певних твердих тілах можуть бути хвилі інших типів.

У різних середовищах пружні коливання збуджуються за допомогою магнітострикційних, п'єзоелектричних, електромагнітно-акустичних та інших перетворювачів [26]. Магнітострикційні перетворювачі, дія яких заснована на перетворенні електромагнітної енергії в механічну, виготовляють з магнітострикційних (магнітом'яких) матеріалів: нікелю, пермалоя, пермендюра. Магнітострикція – зміна розмірів і форми кристалічного тіла при намагнічуванні, що викликано зміною енергетичного стану кристалічної решітки в магнітному полі.

Найбільшого поширення набули п'єзоелектричні перетворювачі. Їх виготовляють з монокристалу кварцу і п'єзокерамічних матеріалів: титанату барію, цирконату титанату свинцю і інших. П'єзоелектричний перетворювач являє собою пластину з нанесеними на поверхню тонкими шарами срібла, що слугують в якості електродів. Для набуття пластинами п'єзоелектричних властивостей їх електризують в постійному електричному полі. При підведенні до такої пластини змінного електричного струму в ній виникають вимушені механічні коливання, частота яких відповідає частоті електричного струму [30]. Для введення пружних коливань в контрольовану деталь та прийому відбитих ехосигналів п'єзопластини вмонтовують у спеціальній пристрій (пошукову голівку).

Зазначеними методами можна виявляти поверхневі і внутрішні дефекти. Всі інші методи контролю, крім радіаційних, виявляють тільки поверхневі або підповерхневі дефекти. Акустичними методами добре виявляються тонкі тріщини. Крім того, акустичні методи являються практично безпечними для обслуговуючого персоналу.

За допомогою акустичних методів можна не тільки знаходити несучільності, а й контролювати структуру та фізико-механічні властивості матеріалів, вимірювати товщину деталей і захисних покриттів, а також проводити дослідження втомних пошкоджень матеріалів. Щоб поліпшити умови проходження хвиль і усунути можливість появи хибних сигналів, перед початком акустичного контролю поверхню деталі очищають від бруду, видаляють лакофарбові покриття, окалини, продукти корозії. На основі реєстрації акустичних імпульсів можуть бути побудовані автоматизовані системи контролю при масовому виробництві [5].

Акустичні методи контролю безперервно розвиваються, з'являються нові високопродуктивні прилади, що дозволяють розширити область їх застосування при ремонті конструкцій і виробів.

2.6 Інформаційні параметри акустичного контролю. Обробка дефектоскопічної інформації

Неруйнівний контроль в широкому сенсі слова має своєю кінцевою метою визначення якості виробів на різних етапах їх виготовлення, випробувань та експлуатації. Процес неруйнівного контролю полягає в збудженні в матеріалах виробів полів і коливань різної фізичної природи, оцінці їх інформативних параметрів і обробці результатів вимірювань.

За способами отримання первинної інформації розрізняють такі види неруйнівного контролю: акустичний, електричний, магнітний та електромагнітний, радіохвильовий, радіаційний, оптичний і тепловий. Незалежно від їх фізичної природи в результаті з'являється можливість кожній елементарній ділянці поверхні контрольованого виробу $\Delta S(i, j)$ поставити у відповідність одне або декілька вимірювань інформативних параметрів $X_1(i, j)$, $X_2(i, j)$, ..., $X_N(i, j)$, де i, j – номер контрольованої ділянки; N - число інформативних параметрів.

Число контрольованих ділянок визначається технологією. Контроль може здійснюватися в одній або декількох точках малогабаритних виробів, в лінійних

протяжних об'єктах (наприклад, зварні шви й з'єднання), в просторових великогабаритних виробках за допомогою спеціальних сканерів. Результати контролю зазвичай представлені у вигляді векторів або матриць вимірювань за кількістю інформативних параметрів. Очевидно, що вони прямо чи опосередковано містять інформацію про внутрішню структуру матеріалу контрольованого виробу і його фізико-механічних характеристики.

Обробка результатів неруйнівного контролю ведеться з метою визначення показників, що характеризують якість виробів. Передбачається, що якісний виріб не повинен мати дефектів або ділянок, характеристики яких відрізняються від норми. Наприклад, при наявності таких дефектів, як тріщини і раковини, розшарування і внутрішні розриви, непровари і непроклеї, інформативні параметри змінюються стрибком [15]. Зазвичай невідомими є розміри і форма дефекту, інтенсивність і швидкість зміни інформативних параметрів. Додаткові труднощі при обробці інформації в середовищах і системах неруйнівного контролю створюють перешкоди та шуми. Різноманітність об'єктів контролю, відсутність інформації про дефекти і аномалії і стохастичність результатів вимірювань призводять до ускладнень у вирішенні завдань синтезу алгоритмів обробки інформації. Для їх вирішення існують такі шляхи:

1) остаточні правила виявлення і розпізнавання вад повинні формуватися безпосередньо перед проведенням контролю конкретних виробів та об'єктів; дослідний етап необхідно розглядати як складову частину технології неруйнівного контролю;

2) остаточні правила повинні уточнювати в міру накопичення інформації про результати контролю ряду однотипних виробів.

Система алгоритмів і програм обробки вимірювань, методика та порядок їх практичного застосування складають інформаційну технологію неруйнівного контролю. При створенні інформаційних технологій в умовах невизначеності важливе значення набувають математичні моделі масивів вимірювань. Основою їх розробки можуть бути такі положення:

1) для однорідних за фізико-технічними і фізико-хімічними властивостями матеріалів постійні умови збудження і поширення полів, коливань, випромінювань;

2) умови збудження полів і коливань на дефектах і аномаліях відрізняються від умов їх збудження на нормальних ділянках, і, отже, можуть мати місце відмінності у вимірах параметрів сигналів;

3) дефектним ділянкам та аномаліям матеріалів відповідають аномалії вимірювань параметрів сигналів.

Первинна обробка вимірів в засобах і системах неруйнівного контролю передбачає виявлення ділянок з аномальними параметрами сигналів, виділення кожної з таких ділянок та оцінку чисельних значень показників, які прямо чи опосередковано характеризують стан аномалій [16]. Подальша обробка отриманих даних спрямована на класифікацію виділених аномалій і оцінку їх впливу на якість контрольованих виробів чи на стан технологічного процесу. Вихідними можуть бути наступні припущення:

1) площа та форма, лінійні розміри тієї чи іншої аномалії, ступінь зміни параметрів полів в її межах, коливань, випромінювань служать характеристикою її небезпеки і ознакою для класифікації (небезпечно або безпечно, дефект або не дефект);

2) кількість аномалій, їх відносна сумарна площа або відносна протяжність, середній ступінь зміни вимірюваних параметрів характеризують ступінь неоднорідності матеріалу виробу;

3) число небезпечних аномалій (дефектів), їх відносна або абсолютна сумарна площа використовуються для характеристики якості виробу;

4) стійкість чисельних значень показників від виробу до виробу служить свідченням стаціонарності технології їх виробництва; поява нових аномалій, зміни розмірів і форми аномальних ділянок, інтенсивності сигналів слід розглядати як свідчення нестабільності технології, як ознаку неконтрольованих змін чи порушень у виробничому процесі;

5) шляхом накопичення результатів руйнівного і неруйнівного контролю, дослідження фізико-хімічних властивостей аномальних ділянок отримують вихідну інформацію для вирішення задач класифікації аномалій і розробки алгоритмів розпізнавання дефектів і виявлення неякісних виробів.

Використання сучасних ЕОМ для запам'ятовування та обробки великих масивів вимірювань значно розширює можливості і підвищує ефективність неруйнівного контролю в умовах невизначеності вихідних даних і спотворення вимірювань шумами і перешкодами. На першому етапі розвитку теорії обробки інформації в засобах неруйнівного контролю основна увага приділялася питанням оптимального прийому сигналів [12]. Видається очевидним вибір подальших напрямків дослідження: перехід від обробки сигналів до обробки масивів вимірювань, від контролю за одним параметром до багатопараметричного неруйнівного контролю.

Запам'ятовування і багаторазове використання масивів вимірювань дозволяє зменшити труднощі їх обробки, пов'язані з відсутністю апріорних знань про статистичні закони розподілу сигналів, перешкод, параметрів аномалій і дефектів.

Обробка інформації в засобах і системах неруйнівного контролю включає перетворювання збуджуваних полів, випромінювань і коливань в аналогові електричні сигнали, надання їх в цифровій формі, аналіз дискретних сигналів та вимірювання їх інформативних параметрів, запам'ятовування масивів вимірювань у вигляді вибірок, векторів і матриць, обробка вибірок векторів та матриць вимірювань і представлення результатів контролю у вигляді, зручному для інтерпретації та прийняття рішень про якість виробу. Узагальнена функціональна схема обробки інформації представлена на рисунку 2.8 [31].



Рисунок 2.8 – Функціональна схема обробки вимірювань

Основою інформаційних технологій є їх алгоритмічне забезпечення:

- 1) математичні методи опису сигналів, перешкод, вимірювань;
- 2) параметрична ідентифікація математичних моделей;
- 3) вирішальні правила виявлення аномалій і оцінки їх параметрів;
- 4) класифікація аномалій і розпізнавання дефектів;
- 5) опис і представлення результатів контролю.

Висновки до розділу 2

За результатами неруйнівного контролю всі деталі, вузли і агрегати поділяються на три групи:

- які не потребують ремонту і придатні до подальшої експлуатації;
- потребують ремонту;
- які не підлягають ремонту через його технічну неможливість або економічну недоцільність.

Оскільки елементи конструкції із композиційних матеріалів мають різні форму і розміри, працюють в різних умовах, то і дефекти їх можуть мати самий різний характер. Тому універсального методу, придатного для контролю всіх деталей з композиційного матеріалу – немає.

Серед великої різноманітності видів контролю, що існують на сьогодні, при технічному обслуговуванні та ремонті найбільш часто застосовуються такі методи: оптичні, капілярні, акустичні, з використанням проникаючих випромінювань, магнітні, струмовихровий, а також технічні вимірювання і випробування на міцність і герметичність.

РОЗДІЛ 3

АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ГАБАРИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Обладнання для ультразвукового контролю деталей із композиційних матеріалів

При виробництві і експлуатації агрегатів з КМ ультразвуковий контроль проводиться з метою виявлення дефектів типу розшарувань, включень (як правило технологічних плівок), непросичених зон (зон підвищеної пористості), непроклею в клейових з'єднаннях і стільникових конструкціях, а також для вимірювання товщини [8]. Контроль здійснюється з використанням приладів (ультразвукових дефектоскопів) вітчизняних і зарубіжних виробників (фірми «Олімпус», «Сонотест»), які передбачають ручне сканування поверхні контрольованого об'єкта (рис. 3.1). В основі технологій, що реалізуються даними приладами, покладений ехо-імпульсний метод з контактним способом введення пружних коливань в контрольований об'єкт.



Рисунок 3.1 – Ручне сканування поверхні контрольованого об'єкта

Контроль деталей із КМ після складальних операцій і в експлуатації проводиться з метою виявлення і визначення розмірів тріщини, розшарувань, ударних ушкоджень, оцінки якості проведення ремонту пошкоджених зон.

При контролі використовуються різні акустичні методи.

Імпедансний метод, з використанням вигинистих і поздовжніх хвиль, характерний для таких приладів як АД-42ІМ [32]. Метод власних коливань, реалізований в приладі АД-21Р. Тіньовий і велосиметричний методи застосовуються в приладі Harmonic bondtester Mark II. А тако ж ревербераційний і ехометод, що використовуються в приладах УД4-Т, УД2-70 і ін.

На даний момент в українській авіаційній промисловості основний обсяг неруйнівного контролю деталей з ПКМ здійснюється вручну. Ручний контроль, крім надзвичайно високої трудомісткості, характеризується низькою вірогідністю результатів, так як схильний до впливу людського фактору, має обмеження в реалізації високоінформативних технологій контролю, а також в продуктивності, при проведенні експлуатаційного контролю.

Надійне виявлення та реєстрацію дефектів, високу чутливість, дотримання швидкості сканування і повноти контролю можливо отримати тільки в результаті діагностики об'єкта із застосуванням автоматизованого комплексу акустичного контролю. Отримана за допомогою такого комплексу інформація про розмір, площі і орієнтації дефекту дає можливість побудови якісного зображення для подальшої оцінки працездатності і ресурсу конструкції з ПКМ [30].

В даний час існує ряд імпортованих автоматизованих установок для проведення ультразвукового контролю конструкцій з полімерних композиційних матеріалів, таких як обладнання фірми «Теснатом» (Іспанія), що використовує тіньовий і луна-метод з введенням ультразвукової хвилі через шар контактної рідини (рис. 3.2).



а

б

а - тіньової метод; б - ехо-метод

Рисунок 3.2 – Устаткування фірми «Теснатом»

Незважаючи на високі показники достовірності і якості контролю за імпортні аналоги, вони мають ряд обмежень:

- установки стаціонарні, проблематично їх застосування при проведенні експлуатаційного контролю;
- недостатня інформативність результатів контролю з точки зору оцінки потенційної небезпеки виявлених дефектів (при проведенні експлуатаційного контролю);
- застосовується як правило спосіб введення пружних коливань з використанням контактних рідин.

3.2 Сигнали засобів неруйнівного контролю

Основними джерелами інформації в засобах і системах неруйнівного контролю є акустомеханічні ультразвукові та електромагнітні коливання, електричні і магнітні поля різної фізичної природи. Чутливі елементи перетворюють їх в електричні сигнали. Кожен такий сигнал містить певну інформацію про фізико-технічні або фізико-хімічні характеристики матеріалу в заданій точці поверхні виробу [25]. Сигнали являють собою функції часу, характеризуються інтенсивністю, формою, частотою, тривалістю, часом запізнювання щодо заданої точки відліку. Ступенем відмінності останніх на

ділянках норми і на аномаліях характеризується інформативність сигналів: чим більше, тим ефективніший контроль.

В засобах неруйнівного контролю використовуються сигнали практично у всьому діапазоні частот, від звукових до інфрачервоних, оптичних та рентгенівських. В області найнижчих частот працюють акустомеханічні вимірювачі – дефектоскопи. Ці прилади призначені для дослідження характеристик матеріалів і для неруйнівного контролю якості багат шарових і стільникових конструкцій шляхом ударного збудження механічних коливань, прийому акустичних сигналів, вимірювання та аналізу їх параметрів. Чутливими елементами приладу є мікрофон і п'єзоелемент бойка. Сигнал мікрофона представляє собою квазігармонічні затухаючі коливання з випадковими тривалістю, флуктуаціями амплітуди, частоти і ступенем загасання [12].

Основою моделі мікрофонного сигналу може служити функція часу вигляду:

$$f(t) = te^{-at} \sin \omega t. \quad (3.1)$$

При контролі багат шарових і стільникових конструкцій акустомеханічним дефектоскопом основними інформативними параметрами є енергія сигналу і його частота, які змінюються при наявності розшарувань і непростеїв. Інформацію про дефекти і аномалії можна отримати шляхом аналізу спектрів акустомеханічних сигналів:

$$S(j\omega) = \int_0^{\tau} S(t)e^{-j\omega t} dt. \quad (3.2)$$

Колівання, що збуджуються і прийняті сигнали, як правило, є імпульсами виду:

$$S(t) = A(t - t_3) \cos[\omega_0(t - t_3) - \varphi(t)], \quad 0 \leq t \leq \tau_c, \quad (3.3)$$

де t_3 , τ_c - час запізнювання і тривалості сигналу. Основні інформативні параметри - огинаюча сигналу $A(t)$ і час запізнювання t_3 [14].

3.3 Математичні моделі сигналів та інформативних параметрів

У мікропроцесорних засобах неруйнівного контролю залежно від режимів їх роботи вимірами є або безпосередні виміри аналогових сигналів, або вибірка вимірювань із різних параметрів (амплітуда, частота, фаза, час запізнювання, тривалість сигналів). Виміри корисних сигналів $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ спотворюються модулюючими (m_k) і адитивними (n_k) завадами. Вимірювання можна виразити у вигляді:

$$X_k = n_k S_k + n_k. \quad (3.4)$$

В свою чергу, сигнал S_k складається з основи S_o і випадкової складової ΔS_k . Детермінована основа сигналу $S_o(t)$ та флуктацій $\Delta S(t)$ містять інформацію про характеристики матеріалу контрольованої ділянки виробу. Наявність флуктацій $\Delta S(t)$ обумовлена неконтрольованими відхиленнями фізико-технічних і фізико-хімічних характеристик від своїх середніх значень. Очевидно, що флуктації на ділянках норми повинні мати однакові статистичні властивості і можуть відрізнитись при наявності дефектів. Отже, статистичні характеристики сигналів повинні використовуватись в якості додаткового джерела інформативних параметрів.

Математичний опис інформативних параметрів базується на наступних твердженнях: 1) їх чисельні значення постійні на ділянках норми; 2) на аномальних ділянках вони змінюються або стрибком, або плавно по невідомому закону. Математичною моделлю інформативних параметрів неруйнівного контролю може служити кусково-постійна функція із випадковою інтенсивністю стрибків і випадковою тривалістю [14]:

$$\frac{dS}{dt} = \Delta S_i \delta(t - t_i), \quad (3.5)$$

де $\delta(t)$ - дельта-функція, ΔS_i - інтенсивність i -того стрибка в t_i момент часу.

3.4 Математичні моделі вимірювань

Процес вимірювання сигналів та інформативних параметрів супроводжується завадами. Джерелами завад являються контактні елементи пристроїв збудження і прийому коливань, вхідні електронні ланцюги чутливих елементів, аналого-цифрові перетворювачі, зовнішні генератори заважаючих електромагнітних і акустичних полів та коливань.

При контролі методом тіней крупно габаритних виробів із композиційних матеріалів з великим затуханням звуку випадковим чином змінюються тиск і контакт перетворювача. Це тягне за собою флуктуації передачі п'єзодатчиків і п'єзоприймачів $K_1(i, j)$ та $K_2(i, j)$. В даному випадку інформативним параметром являється амплітуда прийнятого імпульсного сигналу $A(i, j)$. Її вимірювання в точці (i, j) можна відобразити у вигляді:

$$X(i, j) = K_1(i, j)K_2(i, j)A(i, j) + N(i, j), \quad (3.6)$$

де $N(i, j)$ – вимірювальний шум.

Вимірювальний шум можна розглядати як послідовність незалежних випадкових величин. Електронні шуми породжують похибки вимірювань Δx із нормальним законом розподілу:

$$W(\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} \exp\left(-\frac{\Delta x^2}{2\sigma_x^2}\right), \quad (3.7)$$

де σ_x^2 – дисперсія помилки вимірювання.

Для багатоелементних датчиків і при створенні завад великою кількістю зовнішніх джерел (цехові джерела шуму) для опису похибок вимірювань використовують закон розподілу Лапласа:

$$W(\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma_x} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|\Delta x|}{\sigma_x}\right), \quad (3.8)$$

де $|\Delta x|$ – модуль похибки вимірювань [13].

3.5 Контроль габаритних конструкцій з полімерних композиційних матеріалів

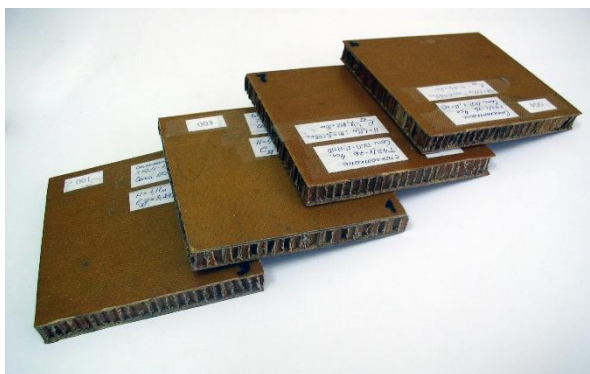
В роботі розглянуто технологію удосконалення неруйнівного контролю габаритних конструкцій, що виготовлені із шаруватих суттєво анізотропних полімерних композиційних матеріалів. Складність полягає у великому розкиді властивостей вихідного матеріалу, недосконалості технології, що значно знижує надійність. Мета неруйнівного контролю – виявлення з високою точністю локальних аномальних ділянок на поверхні виробу і оцінка їх характеристик.

Такі задачі вирішують краще всього за допомогою акустичних методів неруйнівного контролю, які для габаритних конструкцій вимагають багато часу і є трудомісткими. Зони пошкодження при цьому виявляються по зміні в місцях пошкодження акустичного імпедансу:

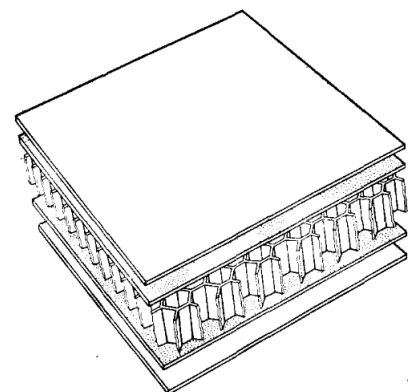
$$Z = \rho \cdot V, \quad (3.9)$$

де: ρ – густина матеріалу; V - швидкість коливального руху частинок матеріалу при проходженні в ньому акустичної хвилі.

В даному випадку для попереднього визначення інформації про пошкодження були використані зразки зі склопластику(рис. 3.3) з різним ступенем пошкодження(від 2.29 до 5.1 кДж).



а)



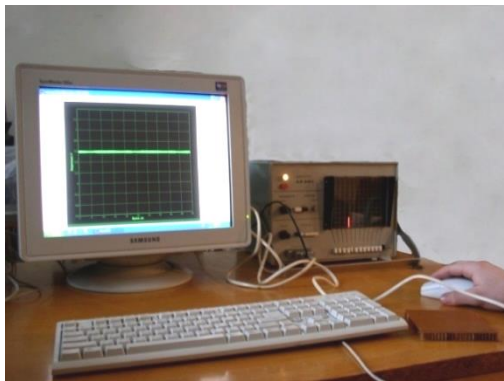
б)

а) загальний вигляд; б) схематичне зображення сандвічевої (сотової) конструкції

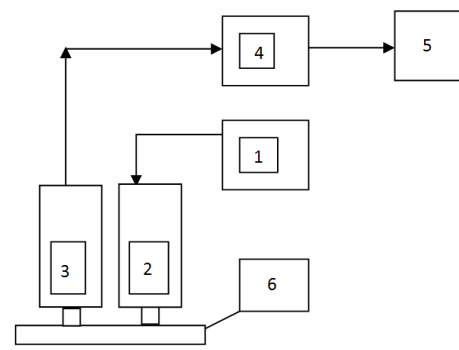
Рисунок 3.3 – Зразки зі склопластику

При цьому виникає необхідність суцільного контролю конструкції в точках, що знаходяться на деякій відстані одна від одної. Складність процесу контролю пов'язана з великим об'ємом сканування особливо для габаритних конструкцій (наприклад висота кіля може досягати 14 м, а ширина – декілька метрів).

Також при контролі габаритних конструкцій сканування за допомогою звичайних акустичних дефектоскопів є трудомістким і займає багато часу для виявлення локальних зон пошкодження. Зменшення трудомісткості може здійснюватися з використанням інших схем сканування, наприклад з допомогою двох перетворювачів (збуджувач + приймач), які розташовуються на визначеній відстані один від одного. Для підвищення чутливості такої схеми доцільно використовувати комп'ютерну обробку сигналів приймача. Задачею локалізації пошкоджень, що з'являються в конструкції є визначення оптимальної схеми сканування і збирання бібліотеки даних, що потім може бути використано для вирішення задачі підвищення швидкості визначення локальних зон пошкодження. Для сканування згідно приведеної схеми (рис. 3.4) пропонується використовувати систему, що включає:



а)

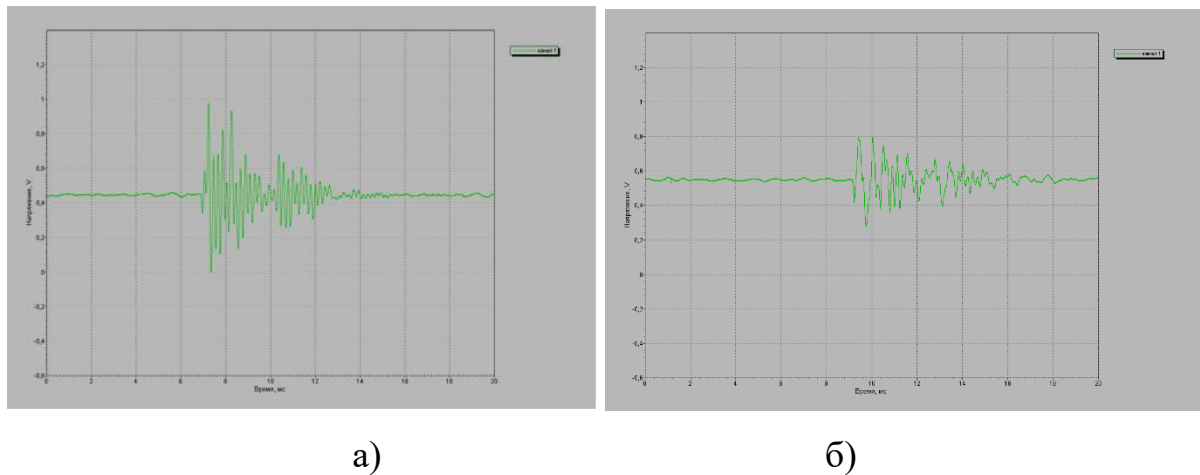


б)

а) загальний вигляд; б) принципова схема системи; 1 – генератор збуджуючих імпульсів дефектоскопа АД-60; 2 – збуджувач; 3 – приймач мікрофонного або індукційного типу; 4 – аналого-цифровий перетворювач (інтерфейсна плата ET 1255); 5 – персональний комп'ютер; 6 – досліджувані зразки з ПКМ

Рисунок 3.4 – Система збору та обробки інформації

При вирішенні задачі контролю необхідно враховувати, що в загальному випадку сигнал акустичного перетворювача являє собою зміни амплітуд коливань в часі. При цьому змінюються не тільки амплітудні характеристики сигналу, а також середня амплітуда сигналу, час затухання та інші параметри. Такі характеристики можливо отримати за допомогою комп'ютерної обробки інформації [29]. В загальному вигляді сигнал в реальному часі має наступний вигляд (рис. 3.5):



а) для зразка із найменшим пошкодженням 2,29 кДж; б) для зразка з найбільшим пошкодженням 5,1 кДж

Рисунок 3.5 – Графічний вигляд залежності величини амплітуди сигналу від часу

Залежності амплітуди сигналу від ступеня пошкодження для зразків зі склопластику з дозованими ударними пошкодженнями представлено на рис. 3.6.

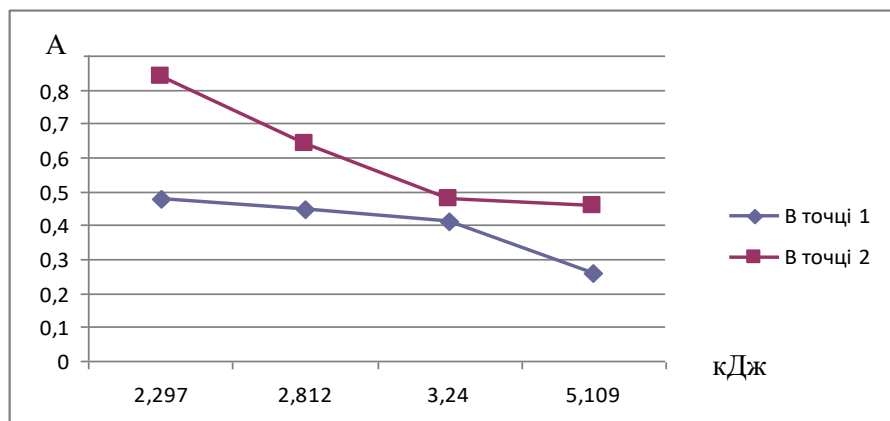
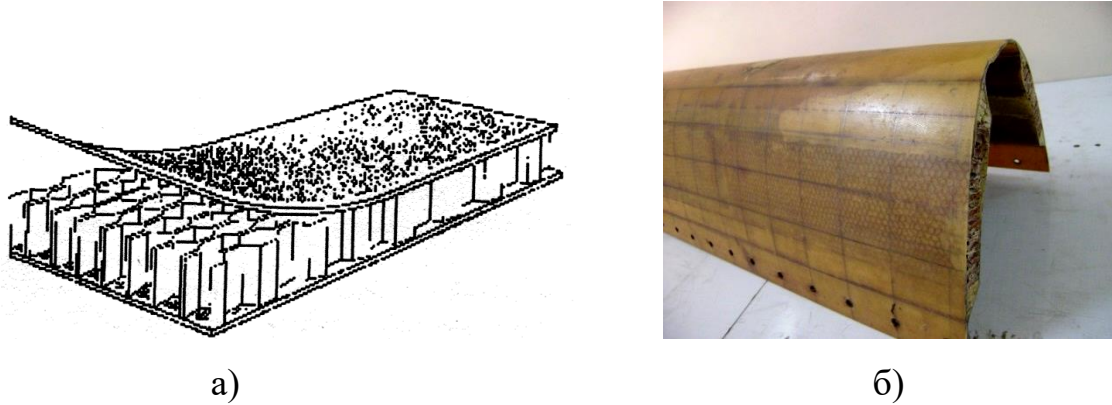


Рисунок 3.6 – Залежність амплітуди сигналу від ступеню пошкодження

Для подальших досліджень використовувалася габаритна конструкція на основі склопластику із стільниковим заповнювачем (фрагмент передньої частини крила повітряного судна довжиною ~ 1 м з пошкодженням, що отримано при міцнісних випробовуваннях) – рис. 3.7.



- а) схематичне зображення легкої та жорсткої тришарової сотової конструкції;
 б) фото пошкодженої зони

Рисунок 3.7 – Носок крила Ан-158 зі склопластику

Для отримання інформації при скануванні поверхня конструкції поділена на сектори у вигляді координатної сітки (Рис.3.6) і обрані напрями сканування: 1) у напрямку пошкодження; 2) у напрямку без пошкодження.



Рисунок 3.8 Фрагмент конструкції крила з координатною сіткою

При скануванні п'єзоелектричним приймачем від збуджувача (встановленого в секторі 4-13) по схемі згідно рисунку 3.6 отриманий розподіл амплітуди сигналу (по індикатору АД-60), що характеризується його значним

зменшенням (рис. 3.9) в зоні пошкодження і близької до неї та малими коливаннями у напрямку без пошкодження.



Рисунок 3.9 – Значення максимальної амплітуди сигналу у відповідних секторах (на основі аналогової інформації)

Підвищення чутливості контролю для таких схем сканування є актуальною задачею і може бути досягнуто цифровою обробкою сигналів від приймача. При цьому з'являється можливість оцінювати акустичні сигнали не тільки за амплітудою.

Даний метод базувався на візуальній оцінці і контролю амплітуди сигналу лінійним вимірюванням. Метод має не високу чутливість і точність та пов'язаний з вибором контрольованої частоти. Отже, для підвищення інформативності контролю була використана цифрова обробка акустичних сигналів приймача. Для сканування згідно вище приведеної схеми пропонується використовувати систему, що базується на аналого-цифровому перетворювачі (інтерфейсна плата ET-1255), яка виконує функцію спряження акустичного дефектоскопа з комп'ютером і проводить оцифровку аналогового сигналу.

При вирішенні задачі контролю необхідно враховувати, що в загальному випадку сигнал акустичного перетворювача являє собою зміни амплітуд коливань в часі. При цьому змінюються і фіксуються не тільки амплітудні характеристики сигналу, а також середня амплітуда сигналу, час затухання та

інші параметри. Такі характеристики можливо отримати за допомогою комп'ютерної обробки інформації.

В результаті роботи з цією системою отримуємо або сигнал в графічному вигляді, або у вигляді збереженої у файлі таблиці чисел. Подальша робота з масивом цієї інформації полягає у використанні спеціальних математичних програм.

Так, для обробки сигналів можна використовувати програмний продукт MathCAD. За допомогою програми MathCAD можливо вирішувати практичні задачі статистичного аналізу даних. Зазвичай приходиться мати справу з великим об'ємом вихідної інформації. В даному випадку цифрова інформація з експериментальних даних була підготовлена спеціальним додатком і збережена у файлі у вигляді таблиці чисел. MathCAD дозволяє користувачу, за допомогою спеціальних функцій завантажити ці данні і провести з ними певні операції. Початкова обробка інформації полягає зазвичай у відшуванні максимального і мінімального значення вибірки, а також в побудові варіаційного ряду – масиву вибірових значень. Для виконання цих задач в даному програмному забезпеченні призначені відповідні функції ($\max(A)$, $\min(A)$, $\text{sort}(A)$). Крім того, MathCAD має ряд засобів, що визначають точкові оцінки параметрів розподілення випадкової величини. Ці функції дозволяють отримати числові характеристики вибірки, що знаходяться в нашому масиві інформації.

Найбільш наглядною формою графічного представлення вибірок являється гістограма (рис. 3.10). Для побудови гістограм в MathCAD також призначена відповідна функція ($\text{hist}(\Delta, A)$).

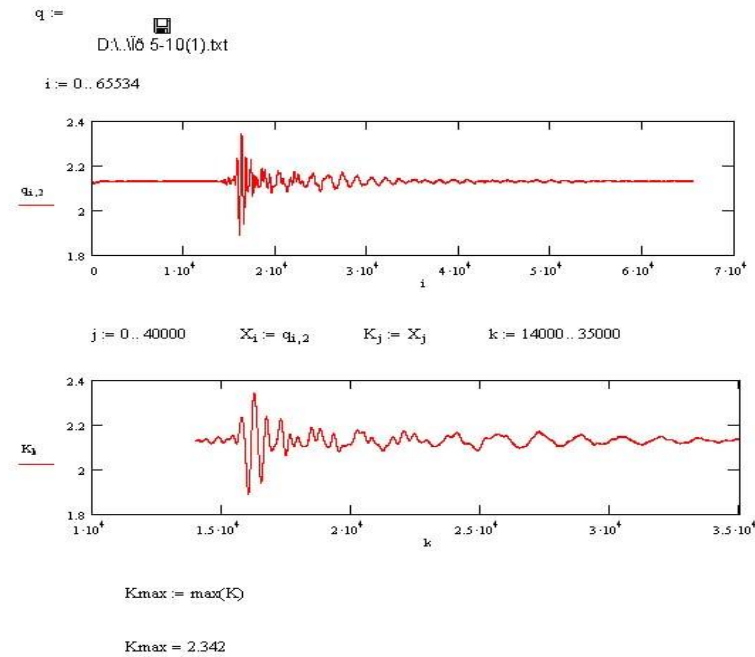


Рисунок 3.10 – Зразок робочого вікна програми MathCAD

Проблема статичної обробки інформації багатогранна. Завдання, пов'язані з нею, є і в галузі управління технологічними процесами, і в області управління виробництвом в цілому, вони є актуальними також в економіці, соціології при проведенні науково-експериментальних досліджень і т.д.

Сама обробка інформації необхідна для того, щоб мати можливість керувати ходом процесів і явищ. На керовані процеси впливає безліч випадкових факторів, які неможливо врахувати, тому обробка інформації повинна мати статистичний характер. Завданням цієї статистичної обробки є виявлення тенденцій у розвитку тих чи інших процесів і явищ та підвищення достовірності отриманих відомостей.

Щодо використаних варіантів сканування. Задачею локалізації пошкоджень, що з'являються в конструкції є визначення оптимальної схеми сканування і збирання бібліотеки даних, що потім може бути використано для вирішення задачі підвищення швидкості визначення локальних зон пошкодження. При виявленні дефектів використовується три основні схеми сканування. В результаті було отримано залежність, що зображує значення максимальної амплітуди сигналу у відповідних секторах на дослідній

конструкції (Рис. 3.8). Використані методи виділені кольорами. Отже, синя крива показує залежність для методу що базувався на використанні суміщеного перетворювача, яким було проведено поступове сканування по всій довжині конструкції. Червона крива зображує залежність, отриману в результаті сканування другим методом, що передбачає використання розділених збуджувача (індуктивного типу) та приймача (мікрофонного типу). В цьому випадку збуджувач фіксувався в центрі координатної сітки, а приймач переміщувався в напрямках 1 та 2 (зображених на Рис.3.8). Крива зеленого кольору показує залежність отриману третім методом. Він також полягав у використанні розділених збуджувача (індуктивного типу) та приймача, але цього разу був використаний п'єзоелектричний приймач. Збуджувач також фіксувався в центрі конструкції і сканування проводилось аналогічно другому методу.

Висновки до розділу 3

В даному розділі робиться спроба розглянути задачі синтезу алгоритмів обробки вимірювань в системах неруйнівного контролю в умовах недостатньої або невизначеної інформації. При цьому передбачається можливість запам'ятовування, зберігання і неодноразового використання великих масивів вимірювань і обробки їх після контролю. Алгоритм реалізовано в акустичних засобах і системі неруйнівного контролю виробів з полімерних композиційних матеріалів.

Таким чином, дана система та отримані залежності дозволяють більш ефективно і з меншими витратами часу вирішувати задачі прогнозування, отримати фактичні міцнісні характеристики композиційних матеріалів.

Інформативність контролю в цьому випадку підвищується завдяки комп'ютерній обробці. В подальшому, за допомогою математичного апарату стає можливим проводити обробку за іншими інформативними параметрами: середня амплітуда сигналу, енергія сигналу, час затухання та інші. Із цих параметрів може бути вибраний найбільш чутливий до конкретного типу пошкоджень конструкції.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці

Законодавчими актами, які визначають основні положення про охорону праці, є загальні закони України, а також спеціальні законодавчі актами. Загальними законами України, що визначають, основне положення з охорони праці є Конституція України, Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю (КЗпП), Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності [8].

Основний закон держави - Конституція України - в статті 43 визначає, що кожен має право на працю. Держава створює умови для повного здійснення громадянами права на працю, гарантує рівні можливості у виборі професії та роду трудової діяльності. Кожен має право на безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату не нижчу від визначеної законом. Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється. Громадянам гарантується захист від незаконного звільнення. Право на своєчасне одержання винагороди за працю захищається законом.

Кодекс законів про працю України регулює трудові відносини всіх працівників (далі-об'єкти), сприяючи зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню на цій основі матеріального і культурного рівня життя трудящих. Згідно статті 141 власник (далі-суб'єкт) або уповноважений ним орган повинен правильно організувати працю працівників, створювати умови для зростання продуктивності праці, забезпечувати трудову і виробничу дисципліну, неухильно дотримуватися законодавства про працю і правил охорони праці, уважно ставитися до потреб і запитів працівників, поліпшувати умови їх праці та побуту [34].

Суб'єкт або уповноважений ним орган повинен впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничих травм, і забезпечувати санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників. Суб'єкт або уповноважений ним орган не вправі вимагати від працівника виконання роботи, яка небезпечна для життя, а також в умовах, що не відповідають законодавству про охорону праці.

Об'єкт має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або людей, які його оточують, і навколишнього середовища. У разі неможливості повного усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я умов праці власник або уповноважений ним орган зобов'язаний повідомити про це орган державного нагляду за охороною праці, який може дати тимчасову згоду на роботу в таких умовах. У таких випадках орган державного нагляду за охороною праці організує: забезпечення працюючих правилами, стандартами, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами з охорони праці, облік, аналіз нещасних випадків, професійних захворювань і аварій, а також шкоди від цих подій, підготовку статистичних звітів підприємства з питань охорони праці; розробку перспективних та поточних планів роботи підприємства щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці; роботу методичного кабінету охорони праці, пропаганду безпечних та нешкідливих умов праці [35].

На суб'єкт або уповноваженого ним орган покладається систематичне проведення інструктажу (навчання) працівників з питань охорони праці, протипожежної охорони.

Суб'єкт зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Суб'єкт несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

Щодо обов'язків об'єкта щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці об'єкт зобов'язаний:

- Дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;

- Знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва;

- Користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;

- Проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Об'єкт несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники ГОСТ 12.1.003-74 СББТ

Об'єкт - агрегатно-складальний цех, суб'єкт - складальник-клепальники.

На суб'єкта діють наступні небезпеки і шкідливі чинники:

- Підвищений рівень шуму, вібрації на робочому місці;

- Рухомі машини і механізми;

- Гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;

- Розташування робочого місця на значній висоті відносно підлоги;

- Відсутність або недолік штучного освітлення при ремонті планера літака;

Джерелами шуму є клепальні операції, що виконуються, як правило, пневмомолотки і клепальними пресами, а також від сверлильних і зенковальних операцій [33]. В залежності від рівня та характеру шуму, його тривалості, а також від індивідуальних особливостей людини, шум може чинити на неї різну дію. Виробничий шум негативно діє на людей, що

працюють на шумних виробничих ділянках. Нормування шуму проводиться відповідно до ГОСТ 12.1.003-74.

На робочих клепальників в цеху діють локальні вібрації від пневмомолотка при расклепуванні заклепок. Локальна вібрація викликає спазми судин, які починаються з кінцевих фаланг пальців руки, і поширюється на всю кисть, передпліччя, захоплюючи судини серця. Внаслідок цього відбувається погіршення постачання кров'ю кінцівок. Одночасно спостерігається дія вібрацій на нервові закінчення, м'язові і кісткові тканини, що виражаються в порушенні чутливості шкіри, окостеніння сухожилів м'язів і відкладення солей в суглобах рук і пальців, що призводить до болів, деформацій і зменшення рухливості суглобів. Всі зазначені зміни посилюються в холодний і зменшуються в теплий період року. При локальній вібрації спостерігається порушення діяльності центральної нервової системи, як і при загальній вібрації [35].

В якості факторів, що впливають на ступінь і характер несприятливого впливу вібрації, повинні враховуватися:

- Ризики (ймовірності) прояви різних патологій аж до професійної вібраційної хвороби;
- Показники фізичного навантаження та нервово-емоційного напруження;
- Вплив супутніх чинників, які поглиблюють вплив вібрації (охолодження, вологість, шум, хімічні речовини тощо);
- Тривалість і уривчастість впливу вібрації;
- Тривалість робочої зміни.

Показники вібраційного навантаження на оператора повинні формуватися з таких параметрів:

- Віброприскорення (віброшвидкість);
- Діапазон частот;
- Час дії вібрації.

Відповідно до ГОСТ 12.1.012-90 при гігієнічному нормуванні вібрацій обмежують середньоквадратичні величини вібростійкості або віброприскорення, які встановлюють в залежності від виду вібрації, природи її походження, напрямки дії і середнегеометрических частот октавних смуг .

При оцінці вібраційного навантаження на суб'єкт кращим параметром є віброприскорення [36].

У агрегатно-складальному цеху широко використовується підйомно-транспортна техніка. Безпека праці при підйомі і переміщенні вантажів в значній мірі залежить від конструктивних особливостей підйомно-транспортних машин і відповідності їх правилам і нормам Держтехнагляду України. У цеху використовується кран-балка для переміщення частин фюзеляжу до місць зборки. При експлуатації кран-балки слід відображати всі доступні рухомі частини механізмів, що і зроблено в цеху. Це відноситься і до клепальні пресів. Крім того, в цеху знижена можливість непередбаченого контакту робітників з переміщуваними вантажами і самими

механізмами при їх пересуванні, а також забезпечена надійність механізмів, вантажозахватних та страхувальних пристосувань шляхом розрахунку на міцність цих пристосувань на динамічність і статику.

Вентиляція в цеху здійснюється механічним способом, вона загально обмінна по ГОСТ 12.4.021-75, що відповідає СНіПШ-30-75. Крім того, в теплу пору року використовується природна вентиляція.

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами:

- Температура повітря;
- Відносна вологість;
- Швидкість руху повітря на робочому місці;
- Інтенсивність теплового випромінювання.

Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати значенням, відповідним ГОСТ 12.1.005-88.

Гострі кромки [34], задирки і шорсткості на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання також побічно діють на виробничих робітників протягом робочої зміни.

Міжгалузеві правила по охороні праці при роботі на висоті встановлюють єдиний порядок організації і проведення усіх видів робіт на висоті з метою забезпечення безпеки працівників, що виконують ці роботи, і осіб, які перебувають у зоні проведення цих робіт. До робіт на висоті належать роботи, при виконанні яких працівник перебуває на відстані менше 2 м від неогороджених перепадів по висоті 1,3 м і більше.

4.3 Розробка заходів щодо зниження впливу небезпечних чинників, обумовлений інженерним розрахунком.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які діють на суб'єкта показує, що з фізичних чинників найбільше значення мають локальна вібрація і шум, створювані ручним механізованим інструментом, клепальними машинами, пневматичними пристроями, і т.д. Параметри вібрації не повинні перевищувати гранично допустимих рівнів. Робочі місця для обробки пневмоінструментом, випромінюючим високочастотний або середньочастотний спектр шуму, слід огороджувати переносними або стаціонарними звукоізолюючими екранами заввишки не менше 2 м зі звукопоглинаючим облицюванням. Сумарний час роботи в контакті з ручними машинами, що викликають вібрацію (наприклад, клепальні-складальні роботи), не повинні перевищувати $\frac{2}{3}$ робочої зміни [35].

Організаційно-технічні заходи щодо зниження шуму на виробництві:

- Заміна шумного обладнання менш шумним;
- Раціональне розташування машин і агрегатів в цеху, винос найбільш шумних в спеціальне приміщення або виділення їх в окрему частину цеху, щоб забезпечити в приміщенні допустимий рівень шуму;
- Планування часу роботи шумного обладнання, щоб в цей час в цеху працювало менше людей.

Віробезпека праці на підприємствах повинна забезпечуватися:

- Дотриманням правил і умов експлуатації машин і введення технологічних процесів, використанням машин тільки у відповідності з їх призначенням;

- Підтримкою технічного стану машин, параметрів технологічних процесів і елементів виробничого середовища на рівні, передбаченому НТД, своєчасним проведенням планового та попереджувального ремонту машин;

- Вдосконаленням режимів роботи машин і елементів виробничого середовища, винятком з вібруючими поверхнями за межами робочого місця або зони введенням огорожень, попереджувальних знаків, використанням попереджувальних написів, фарбування, сигналізації, блокування і т.п.;

- Поліпшення умов праці (в т.ч. зниженням або виключенням дії супутніх несприятливих факторів);

- Застосуванням засобів індивідуального захисту від вібрації;

- Введенням і дотриманням режиму праці та відпочинку, в найбільшій мірі знижують несприятливу дію вібрації на людину;

- Санітарно-профілактичними і оздоровчими заходами;

- Контролем вібраційних характеристик машин і вібраційного навантаження на оператора, дотриманням вимог віробезпечних і виконанням передбачених для умов експлуатації заходів.

Наявність металевого пилу в повітрі робочої зони складального цеху може призвести до захворювання слюсарів-складальників пневмоконіоз, хронічний пиловим бронхітом, професійною бронхіальною астмою.

Необхідно передбачати кошики для відсмоктування пилу і видалення стружки, щоб уникнути травмування дрібними стружками, тирсою і залишками абразиву, що вилітають з великою швидкістю з отворів і поглиблень.

Основними вимогами безпеки для складального процесу є:

- Заміна операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних і шкідливих виробничих факторів, операціями, при яких цих факторів немає або вони володіють меншою інтенсивністю;

- Заміна шкідливих речовин нешкідливими або менш шкідливими, сухих способів обробки матеріалів, які пилять мокрими;
- Підвищення рівня механізації складальних робіт;
- Комплексна механізація і автоматизація виробництва;
- Оснащення складальних цехів засобами внутрішньоцехового транспорту;
- Застосування засобів колективного та індивідуального захисту працюючих;
- Раціональна організація праці та відпочинку з метою профілактики монотонності та гіподинамії, а також обмеження важкості праці;
- Своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних і шкідливих виробничих факторів на окремих технологічних операціях;
- Впровадження системи контролю та управління технологічним процесом.

Постановка задачі: Визначити кількість заземлювачів і довжину сполучної смуги контурного заземлювального пристрою для дослідження матеріалів на тертя та зношування від статичної електрики. Опір контуру $R_n \leq 100$ Ом. Одиночний заземлювач – сталевий стрижень, ширина сполучної смуги $b = 0,04$ м, глибина закладання $H = 2,1$ м (ґрунт – пісок). Відстань між кутками $a = 2,7$ (відношення $a/l = 1$).

Вхідні дані:

$K_{сез} = 2$ – коефіцієнт збільшення питомого опору ґрунту (коефіцієнт сезонності), пісок (табл. 3.3).

$l = 2,7$ м – довжина, заземлювачі – сталеві стрижні (табл. 3.4).

$d = 0,038$ м – діаметр (табл. 3.4).

$H = 2,1$ м – глибина закладання (табл. 3.4).

$b = 0,04$ м – ширина смугової сталі (табл. 3.4).

$r_n = 10$ Ом, норма опору захисного заземлення (табл. 3.4).

$\rho_{вим} = 7 \cdot 10^2$ Ом·м (табл. 3.1)

1. Діаметр стрижня беруть $d=0,95b$, $\rho_{стл} = 7 \cdot 10^2$ Ом·м. Опір одиничного заземлювача зі сталевго кутка визначаємо за формулою:

$$R_{\epsilon\delta\delta} = 0,366 \frac{\rho}{\ell} \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h + \ell}{4h - \ell} \right) = 0,366 \frac{7 \cdot 10^2}{2,7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,95 \cdot 0,04} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,1 + 2,7}{4 \cdot 2,1 - 2,7} \right) = 94,9(\lg 142 + 0,5 \lg 1,9) = 94,9(2,1 + 0,14) = 213 \hat{\text{н}}$$

2. Орієнтовно взявши кількість забитих кутиків $n=3$, визначаємо довжину сполучних смуг:

$$l_1 = na = 2,7 \cdot 3 = 8,1 \hat{\text{н}}$$

$$\text{Глибина закладення смуги } H_{\bar{m}} = 2,1 \hat{\text{н}}$$

3. Опір розтікання струму в землі від сталевго смуги

$$R_{\bar{m}} = 0,366 \frac{\rho}{\ell} \lg \frac{2\ell_1^2}{bH_{\bar{m}}} = 0,366 \frac{7 \cdot 10^2}{8,1} \lg \frac{2 \cdot 8,1}{0,04 \cdot 2,1} = 31,6 \cdot 2,29 = 72 \hat{\text{н}}$$

$$\eta_{\bar{m}} = 0,5 \quad \eta_{\epsilon\delta\delta} = 0,75$$

4. Опір контурного заземлювального пристрою:

$$r_{\epsilon,\zeta} = \frac{R_{\epsilon\delta\delta} R_{\bar{m}}}{R_{\epsilon\delta\delta} \eta_{\bar{m}} + n R_{\bar{m}} \eta_{\epsilon\delta\delta}} = \frac{213 \cdot 72}{213 \cdot 0,5 + 3 \cdot 72 \cdot 0,75} = \frac{15336}{268,5} = 57,1 \hat{\text{н}}$$

Отримане значення опору контурного заземлювального пристрою менше нормованого ($r_{к.з.}$ менше 100 Ом), тому беремо кількість заземлювачів $n=3$, довжина сполучних смуг $l=8$ м.

4.4 Пожежна і вибухова безпека

Вся робота з пожежної та вибухової безпеки авіапідприємств ЦА виконується згідно з постановами з пожежної охорони підприємств, організацій та установ ЦА [34].

Вона визначає основні положення організації проведення пожежно-профілактичної роботи, служби та бойової підготовки пожежних частин на підприємствах ЦА, а також обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки на об'єктах підприємств ЦА. При проведенні ремонту планера - літака Боїнг до виникнення пожежі або вибуху можуть привести наступні фактори:

- Попадання ПММ на гарячі елементи конструкції або електричну проводку;
- Іскри від удару, тертя або при падінні інструменту;
- Порушення вимог пожежної безпеки (куріння у не відведених для цього місцях, наявність джерел відкритого вогню).

Основними причинами виникнення пожеж в ангарі є: недбале поводження з відкритим вогнем, при електрогазозварювальних роботах, при роботі з паяльними лампами та іншими джерелами відкритого вогню, несправність опалювальних систем, несправність або перевантаження, неправильний монтаж електроустановок, освітлювальних приладів і мереж, який призводить до підвищеного нагрівання або короткого замикання; несправність обладнання, порушення технології робіт, потоку продуктів ПММ; вибух горючих сумішей в повітрі при терті, ударах; самозаймання горючих речовин при неправильному зберіганні, незнання їх пожежної небезпеки; розряди статичної та атмосферної електрики при неправильному заземленні і блискавковідводів; палінні в пожежонебезпечних зонах [34].

Безпека людей повинна бути забезпечена при виникненні пожежі в будь-якому місці виробничого споруди, території підприємства. При виникненні пожежі на людей можуть діяти небезпечні фактори: відкритий вогонь і іскри, підвищена температура повітря, предметів, устаткування, токсичні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, обвалення і пошкодження будинків, споруд, установок; вибухи.

Пропонуються наступні заходи з попередження виникнення пожежі: для захисту від пожежі і боротьби з нею на місцях, де відбувається ТО повинні бути встановлені протипожежні щити, на які є первинні засоби захисту та боротьби з пожежею: вуглекислі, порошкові вогнегасники, лопати, багор, пожежне відро, ємність з піском;

- У ангарного корпусі встановлюються, як переносні, так і стаціонарні засоби захисту від пожежі;
- Завезення НД в ангар проводиться не раніше ніж через 20 хвилин

після зупинки двигуна;

- В ангарі НД ставлять таким чином, щоб забезпечити вільне викочування одного з літаків;

- Якщо НД в ангарі залишають на час і більше, паливо з нього баків зливається і заповнюються інертним газом;

- У місцях підвищеної пожежної небезпеки встановлюються ручні повітряно-пінні вогнегасники типу ОВЦ-10, що подають струмінь піни на відстань 3,7 м на протязі 53 секунд (використовуються для всіх матеріалів крім електроустановок);

- Для зняття статичної електрики в ангарі і на стоянці літаків встановлені колодязі для заземлення літаків.

Небезпечним, в пожежному відношенні є:

- Гідробаки;

- Задні і передні технічні відсіки;

- Панелі генераторів;

- Багажні відсіки;

- Зона проведення трубопроводів системи управління.

- Пожежна безпека літака забезпечується системою протипожежного захисту.

Запобігання пожежі досягається:

- Максимальної механізацією технічних процесів, пов'язаних з роботою з паливними речовинами;

- Застосування вогнестійких матеріалів для обробки кабіни екіпажу та пасажирських салонів;

- Застосування електроустаткування, яке відповідає вимогам «Правил улаштування електроустановок» ПУЕ-86.

Протипожежний захист забезпечує:

- Застосування засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки;

- Застосування автоматичних установок пожежної сигналізації та

пожежогасіння.

На літаках передбачені два види протипожежного захисту: активний і пасивний.

У протипожежну систему відсіків авіаційного двигуна та допоміжної силової установки (ДСУ) входять вогнегасники, блоки електромагнітних розподільних кранів, механізм включення системи при посадці з прибраними шасі, система сигналізації пожежі ССП-ЦА, розпилювальні колектори і трубопроводи. Для гасіння пожежі, які виникли в пасажирських салонах, служать вогнегасники типу ОУ.

На стоянці літака для гасіння пожежі в будь-якій частині НД і біля нього використовується пересувна установка.

В якості вогнегасної складу застосовується водоетілоногліколевая суміш або хладон 1281.

Пересувні вуглекислотні вогнегасники типу УП-1М для ліквідації окремих серцевин пожежі: ручні вогнегасники ОУ-8; порошковий ОПС-10; хімічний ОП-9 ММ і ОХП-10.

4.5 Інструкція забезпечення безпеки при ремонтних роботах

При роботі з пневматичними ручними сверлильними машинами [35]:

- Використовувані машини по рівню вібрації повинні задовольняти вимогам;
- Установку і зміну ріжучого інструменту проводите тільки за допомогою ключа;
- При виконанні стружкообразуючих операцій надягайте захисні окуляри;
- Оброблювана деталь повинна бути правильно і надійно закріплена;
- Необхідно стежити, щоб руки і інші частини тіла не знаходились в близькості від передбачуваного місця виходу свердла;

При роботі з пневматичними ручними клепальними молотками:

- Вібрація застосовуваних молотків повинна бути в межах норм встановлених;

При роботі з пневматичними ручними клепальними пресами /скобами/:

- Вставні обтискачі повинні бути надійно закріплені;
- Заміну обжимок проводити тільки при відключеному пресі;
- Слідкуйте за положенням рук - не допускайте їх розміщення в безпосередній близькості до обтискача;
- Підключення преса проводите тільки перед початком роботи.

Необхідно стежити за тим, щоб на робочому місці не було скупчення шлангів, шланги не повинні натягуватися, скручуватися, утворювати петлі, торкатися гострих предметів. Всі робітники, які працюють клепальними пресами, повинні не рідше одного разу на рік проходити атестацію з техніки безпеки.

Збирачі-Клепальники повинні проходити комплексний медогляд не рідше одного разу в шість місяців.

Усі працівники повинні проходити виробничі інструкції з техніки безпеки.

При покиданні робочого місця необхідно відключити обладнання від електричної, пневмо-, гідро-і др.сеті.

Постійно стежте за надійною фіксацією драбин. Не допускайте забруднення поверхонь літака, драбин ПММ, щоб уникнути падінь, вчасно видаляйте ПММ.

Спецодяг та взуття виконавців повинні бути цілими, чистими.

При ходьбі по поверхнях літака надягайте взуття, предохраняющую обшивку від пошкоджень.

Всі інструменти, які використовуються повинні мати чітке помітне маркування, знаходитися в переносних інструментальних ящиках, дно яких зовні має бути обклеєно гумою.

Робочий інструмент повинен бути справним, забезпечувати високу продуктивність і необхідний рівень якості при виконанні технологічних операцій, утримуватися в чистоті і своєчасно обслуговуватися і ремонтуватися.

При виявленні недостачі інструментів прийміть заходи до їх виявленню. Про втрату, пропажу інструменту негайно необхідно доповісти безпосередньому начальнику [36].

Всі деталі та кріпильні вироби мають перебувати на спеціальних полицях.

Висновки до розділу 4

При виконанні даної частини пояснювальної записки дипломного проекту було проаналізовано, визначено та зазначено основний перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів що можуть діяти на технічний персонал при виконанні клепальних робіт при відновленні планера ПС.

Запропоновано організаційні і технічні заходи по виключенню або зменшенню рівня небезпечних та шкідливих виробничих факторів

З метою забезпечення оптимальних умов роботи запропоновано виконати заміну ламп денного світла та ртутних ламп на світлодіодні, що забезпечить рівномірне освітлення ангара, якісну дефектацію поверхні обшивки і проведення її відновлення, зменшення використання електричної енергії.

На підставі діючих санітарних норм проаналізовано вплив вібрації, при виконанні клепальних робіт та запропоновано заходи, щодо шкідливого впливу на робочих.

Запропоновано заходи із забезпечення пожежної та вибухонебезпечної безпеки ділянки.

У підсумку розроблено та запропоновано інструкцію з техніки безпеки при ремонтних роботах.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Негативний вплив аеропортів і авіаційного транспорту на навколишнє середовище

Науково-технічна революція забезпечила людство небувалими благами, серед яких одним з найважливішим стала можливість швидко переміщуватися на великі дистанції. Людина підкорила небо! Нарешті збулася багатовікова вікова мрія людства. Та один із головних законів екології твердить: за все треба платити.

Термін «авіація» значить для нас дві речі: літак та аеропорт. Причому аеропорт для нас є місцем, звідки, власне, літак вирушає в подорож. Проте ми тут дещо помиляємось [38].

Аеропорт – це багатофункціональне транспортне підприємство, яке є наземною частиною авіаційної транспортної системи, яка забезпечує зліт і посадку повітряних суден, їх наземне обслуговування, прийом і відправлення пасажирів, багажу, пошти і вантажів. Аеропорт забезпечує необхідні умови для функціонування авіакомпаній, державних органів регулювання авіаційної та митної діяльності

Тобто до об'єктів аеропорту входять не лише літаки, а засоби його обслуговування: спецавтотранспорт, про який ми поговоримо дещо пізніше.

У результаті авіатранспортних перевезень відбувається забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосфери, а сама специфіка впливу повітряного транспорту на довкілля виявлена в значній шумовій дії та значних викидах різноманітних забруднюючих речовин.

У цивільній авіації авіаремонтні заводи та аеропорти із спецавтотранспортом є найбільш інтенсивними джерелами забруднення природної води. Стічні води авіаремонтних підприємств та аеропортів

складаються з виробничих і господарсько-побутових стічних вод та поверхневих стоків [39].

Кількість стічних вод і їх склад змінюються протягом доби, тижня, місяця. Для ряду виробничих процесів характерний залповий скид сильно концентрованих стічних вод. Найбільшу небезпеку для водних об'єктів становлять стоки з території аеропорту: передангарного та доводневого майданчиків, складів паливо-мастильних матеріалів, майданчиків для миття.

Поверхневі стоки з територій транспортних підприємств містять рідкі нафтопродукти, залишки миючих, дезинфікуючих, антиобмерзаючих і протижелезних реагентів, формувальних сумішей, розчинів, використовуваних у металообробці, відпрацьовані електроліти акумуляторних батарей, продукти руйнування штучних покриттів і зносу шин.

Атмосферні опади, потоки дощових та талих вод також поглинають частину димових газів котелень, шкідливих викидів авто - та авіатранспорту, які осідають на аеродромі.

У пришляховому просторі при зльоті літака приблизно 50 % викидів у вигляді мікрочастинок відразу розсіюється на прилеглих до аеропорту територіях. Нагромадження забруднюючих речовин у пришляховій смузі призводить до забруднення екосистем і робить ґрунти на прилеглих територіях непридатними до сільськогосподарського використання.

Повітряні кораблі забруднюють приземні шари атмосфери відпрацьованими газами авіадвигунів поблизу аеропортів та верхні шари атмосфери на висотах крейсерського польоту. Відпрацьовані гази авіаційних двигунів складають 87 % всіх викидів цивільної авіації, які включають також атмосферні викиди спецавтотранспорту та стаціонарних джерел.

Хімічний склад викидів залежить від виду і якості палива, технології виробництва, способу спалювання в двигуні і його технічному стані. Найбільш несприятливими режимами роботи є малі швидкості і «холостий хід» двигуна, коли в атмосферу викидаються забруднюючі речовини в кількостях, що значно

перевищують викид на навантажувальних режимах. Технічний стан двигуна безпосередньо впливає на екологічні показники викидів.

Стосовно найбільш розповсюдженого в сучасній цивільній авіації типу авіаційного двигуна – турбореактивного двоконтурного (ТРДД) можна виділити п'ять основних режимів (табл. 5.1) [40], тривалість яких відповідає максимальній тривалості режимів, що складають середнє значення тривалості цих режимів для найкрупніших та найбільш навантажених аеропортів світу.

Таблиця 5.1 – Режими роботи авіаційного двигуна в зоні аеропорту

№ режиму	Найменування режиму	Тривалість режиму, хв.
1	Холостий хід і руління перед зльотом (режим малого газу)	17
2	Зліт	0,7
3	Набір висоти	2,2
4	Захід на посадку	4
5	Руління після посадки (режим малого газу)	9

Для забезпечення проходження авіатранспортних процесів в основному використовують паливо, видобуте з нафти. До складу органічної маси нафтового палива входять наступні хімічні елементи: вуглець, водень, кисень, азот і сірка. Не пальна частина палива включає вологу і мінеральні домішки. Продуктами повного згоряння палива є вуглекислий газ, водяна пара і діоксид сірки. При недостатнім надходженні кисню відбувається неповне згоряння, у результаті чого замість вуглекислого газу утворюються чадний газ.

Аеропорти України здійснюють вплив на довкілля через стаціонарні джерела прямої та непрямой дії на навколишнє середовище [41], які розташовані в авіатехнічній базі, аеровокзальному комплексі з привокзальною площею, складах паливно-мастильних матеріалів, котельних, сміттєспалювальних станціях (табл. 5.2).

Кількість шкідливих речовин, які потрапили у 2010 році в атмосферу від стаціонарних джерел в аеропортах, склала 23,1 тисяч тон. Разом з викидами забруднюючих речовин парк літаків споживає у великій кількості кисень.

В аеропортах накопичуються тверді та рідкі відходи споживання та виробництва. У багатьох випадках ці відходи безпечні у санітарно-гігієнічному співвідношенні [42].

Таблиця 5.2 – Джерела викиду та склад забруднюючих речовин у виробничих процесах на експлуатаційних та ремонтних ділянках аеропортів.

Назва зони, ділянки, відділення	Виробничий процес	Забруднюючі речовини, що викидаються
Ділянка миття рухомого складу	Миття зовнішніх поверхонь	Пил, луѓи, поверхнево активні синтетичні речовини, нафтопродукти, розчинені кислоти, феноли
Зони технічного обслуговування, ділянка діагностики	Технічне обслуговування	Оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, масляний туман, пил
Електротехнічне відділення	Заточні, ізолюючі, обмоточні роботи	Абразивний та азбестовий пил, каніфоль, пари кислот
Акумуляторна ділянка	Збір, розбирання та заряджувальні роботи	Промивочні розчини, пари кислот, електроліт, шлаки, лужні аерозолі
Відділення паливного обладнання	Регульовані та ремонтні роботи по паливному обладнанню	Бензин, гас, дизельне паливо, ацетон, бензол
Зварювальний відділ	Електродугове та газове зварювання	Оксиди марганцю, азоту, хрому, хлористого водню
Арматурне відділення	Різка скла, ремонт дверей, підлоги, сидінь	Пил, зварювальний аерозоль, дерев'яна та металева стружка
Ділянка шиномонтажу та ремонту шин	Розбір та збір шин, ремонт покришок та камер, балансуючі роботи	Мінеральний та гумовий пил, сірчаний ангідрид, пари бензину
Ділянка лакофарбового покриття	Видалення старої фарби, знежирення, нанесення лакофарбового покриття	Пил, пари розчинників, аерозолі фарби, забруднена стічна вода
Стоянки рухомого транспорту	Переміщення одиниць рухомого складу	Оксиди вуглецю, азоту, вуглеводні, попіл, сірчаний ангідрид
Склад паливно-мастильних матеріалів	Отримання, зберігання, видача ПММ	Пари та рідкі розливи палива і масел
Гальванічне відділення	Нанесення металопокриття	Соляна та сірчана кислота, нікель, мідь, гідроксид натрію, хромовий ангідрид
Котельні	Подача тепла	Сажа, пил, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, вуглеводні

Також авіація призводить до електромагнітного забруднення середовища. Його викликає радіолокаційна та радіонавігаційна техніка аеропорту та літаків. Радіолокаційні засоби можуть створювати електромагнітні поля великої напруги, які представляють реальну загрозу для людей.

Дія електромагнітних хвиль на живі організми складна і недостатньо вивчена. Взаємодіючи з організмами, електромагнітні хвилі частково відбиваються, а частково поглинаються і розповсюджуються в них. Ступінь впливу залежить від величини поглинання енергії тканинами організму, частоти хвиль та розмірів біооб'єкта [37].

При постійній дії електромагнітних хвиль малої інтенсивності виникають розлади нервової та серцево-судинної системи, ендокринних органів та інше. Людина відчуває роздратування, головні болі, ослаблення пам'яті та ін. Адаптації до електромагнітного впливу не виникає.

Викиди з авіадвигунів та стаціонарних джерел являють собою ще один аспект впливу повітряного транспорту на екологічну ситуацію, але авіація має ряд відмінностей порівняно з іншими видами транспорту:

- використання, здебільшого, газотурбінних двигунів зумовлює інший характер протікання процесів та структуру викидів відпрацьованих газів;
- використання в якості палива гасу призводить до зміни компонентів забруднюючих речовин;
- польоти літаків на великій висоті та з великою швидкістю спричиняють розсіювання продуктів згорання у верхніх шарах атмосфери і на великих територіях, що знижує ступінь їх впливу на живі організми.

У результаті авіатранспортних перевезень відбувається забруднення ґрунтів, водних об'єктів та атмосфери, а сама специфіка впливу повітряного транспорту на довкілля виявлена в значній шумовій дії та значних викидах різноманітних забруднюючих речовин [40].

Негативна дія різних авіаційних джерел шуму, в першу чергу, здійснюється на операторів, інженерів та техніків виробничих підрозділів. Так

історично склалося, що аеропорти розташовані поблизу густозаселених районів міста. Тому з ростом міст та інтенсифікацією авіатransпортних процесів постає серйозна проблема співіснування міста та аеропорту. Населення авіаміста та розташованих поблизу селищ відчувають шум від літаків, що пролітають. У меншій мірі відчувають шум персонал аеропортів, авіапасажери та відвідувачі.

5.2 Вплив шуму, інфра та ультразвучу на людину і навколишнє середовище.

Окремо в проблемі атмосферного забруднення стоїть питання шумового забруднення. Авіаційний шум впливає на широке коло осіб: авіаційно-технічний склад, безпосередньо пов'язаний з експлуатацією авіаційної техніки; пасажирів, які користуються послугами повітряного транспорту, робітників підприємств ЦА, що знаходяться на території або поблизу аеропорту, а також населення, яке живе біля аеропорту.

Шкідливий вплив шуму на організм людини у даний час науково доведено. Діючи на центральну (ЦНС) і вегетативну нервові системи, а через них на внутрішні органи, шум є причиною розвитку шумової хвороби. Знижуючи загальний опір організму зовнішнім впливам, він сприяє розвитку інфекційних захворюванням. При роботі в умовах шуму спостерігається підвищена втома і зниження працездатності, погіршення уваги, дратівливість і неврівноважене емоційний стан, який відбивається на працездатності.

Під впливом інфразвучу внутрішні органи людини приходять в коливальний рух з частотою, яка відповідає частоті збудливої сили. Неприємні відчуття, викликані дією інфразвучу, виражаються у вигляді втоми, млявості, тиску у вухах, депресії, сонливості. Поріг небезпеки смерті представляють інфразвучи рівня 180-190 дБ. Межею безпеки є інфразвучи з рівнями нижче 90 дБ [41].

Ефективне вирішення проблем захисту від шуму, вібрацій, ультра- та інфразвуча досягається проведенням комплексу заходів, що послабляють інтенсивність шкідливих виробничих факторів у їхніх джерелах, на шляху

поширення. Зниження інтенсивності шуму в джерелах забезпечує кардинальне вирішення всіх цих проблем. Зниження інтенсивності шуму на шляху поширення нерідко буває дешевшим за вирішення проблеми в джерелі, але досить ефективним.

Наприклад, шум ПС визначається, у першу чергу, їхніми силовими установками, тому для його зниження необхідне проведення заходів щодо зменшення шуму двигунів. При цьому можливі два шляхи: створення нових малошумних двигунів і модифікація існуючих.

При створенні нових малошумних двоконтурних турбореактивних двигунів (ТРРД) необхідно вибирати такі параметри робочого процесу, двоконтурності, схем, програм регулювання й окремих конструктивних характеристик, які б забезпечували мінімальний шум [36]. Модифікація існуючих конструкцій двигунів може передбачати додаткові заходи щодо зниження шуму, такі як: установку шумопоглинаючих сопел, регулювання площі перерізу реактивних сопел, акустичну обробку вхідних і вихідних каналів вентилятора та мотогондол та інш.

До методів зниження шуму силових установок можна віднести застосування стаціонарних і пересувних глушників шуму біля сопел усмоктування і вихлопу газів двигунів під час їхнього випробування у наземних умовах. Стаціонарні шумоглушники встановлюються на випробувальних станціях двигунів, на спеціальних площадках чи в ангарах (боксах).

Найбільш ефективним є комплексний підхід до вирішення проблеми зменшення авіаційного шуму. Передбачені наступні методи: раціональна організація наземної і льотної експлуатації, вдосконалення прийомів управління повітряним рухом, застосування спеціальних експлуатаційних прийомів при зльоті та посадці. Зазначені методи забезпечують зниження шуму в джерелах його виникнення (внаслідок розробки літальних апаратів більш удосконалених конструкцій) при його поширенні (наприклад за рахунок

використання спеціальних прийомів пілотування), а також при його сприйнятті (використання засобів колективного та індивідуального захисту).

5.3 Розрахунок рівня авіаційного шуму під траєкторією зльоту та посадки літака

Одним з методів зниження шуму ПС є вдосконалення акустичних характеристик двигунів, які встановлено в силовій установці ПС. Реальні характеристики шуму ПС визначають під час виконання процедур сертифікації (контрольних випробувань) ПС перед упровадженням даного ПС в експлуатацію. Нормативи шуму ПС визначають за вимогами ІКАО [31]. Під час зльоту рівні шуму ПС вимірюють на відстані 6,5 км від точки початку розбігу ПС на злітній смузі [37].

Нормативи рівнів шуму визначають за вимогами одинадцяти розділів тому 1 Додатка 16 залежно від характеристик ПС (типу двигуна, маси ПС, літака чи вертольота, дати впровадження типу ПС в експлуатацію). Для більшості типів літаків нормативи встановлюють за вимогами розд. 2, 3, причому вимоги розд. 3 в середньому на 4 дБА жорсткіші, ніж вимоги розд. 2. Отже, якщо характеристики шуму літака відповідають вимогам розд. 3, то можна вважати, що він є досконалішим за своїми акустичними характеристиками. Заміна літаків, характеристики яких відповідають вимогам тільки розд. 2 Додатка 16, на типи літаків, що відповідають за своїми характеристиками вимогам розд. 3, є одним з найважливіших заходів зменшення несприятливого впливу АШ навколо аеропортів цивільної авіації.

За відсутності можливості впровадження досконаліших літаків і необхідності зниження шуму під траєкторіями польоту необхідно використовувати експлуатаційні методи зниження шуму. Насамперед це стосується використання знижених режимів роботи двигунів (порівняно з номінальним режимом, який використовують в умовах щоденної експлуатації) під час прольоту над точками контролю шуму. Зниження режиму двигуна досягається його дроселюванням, тобто зменшенням подачі пального до камери згоряння, скороченням кількості обертів роторів двигуна і, відповідно,

зменшенням тяги двигуна. Ступінь дроселювання залежить від нормативного значення шуму в точці контролю, тобто дроселювати слід тільки в межах необхідного зниження рівня шуму під траєкторією. Максимальний ступінь дроселювання визначається вимогами безпеки польотів і не може бути більшим за величину, яка забезпечує мінімально припустимий градієнт набирання висоти літаком (наприклад, 4 % для більшості типів ПС).

На етапах розбігу ПС по злітній смузі або на етапах руління ПС по аеродрому, або під час випробувань двигунів ПС після ремонту чи технічного обслуговування, у разі потреби для зниження несприятливого впливу АШ використовують акустичні екрани. Акустичні екрани — це всі можливі перешкоди (штучні або природні), які встановлюють на шляху поширення звукових хвиль, — вали (наприклад земляні), стінки (металеві, залізобетонні, дерев'яні тощо), будинки, смуги зелених насаджень і т. ін., які зумовлюють додаткове зниження шуму.

Для виконання розрахунку будують траєкторію зльоту й набирання висоти літака, використовуючи характеристики траєкторії зльоту даного типу ПС

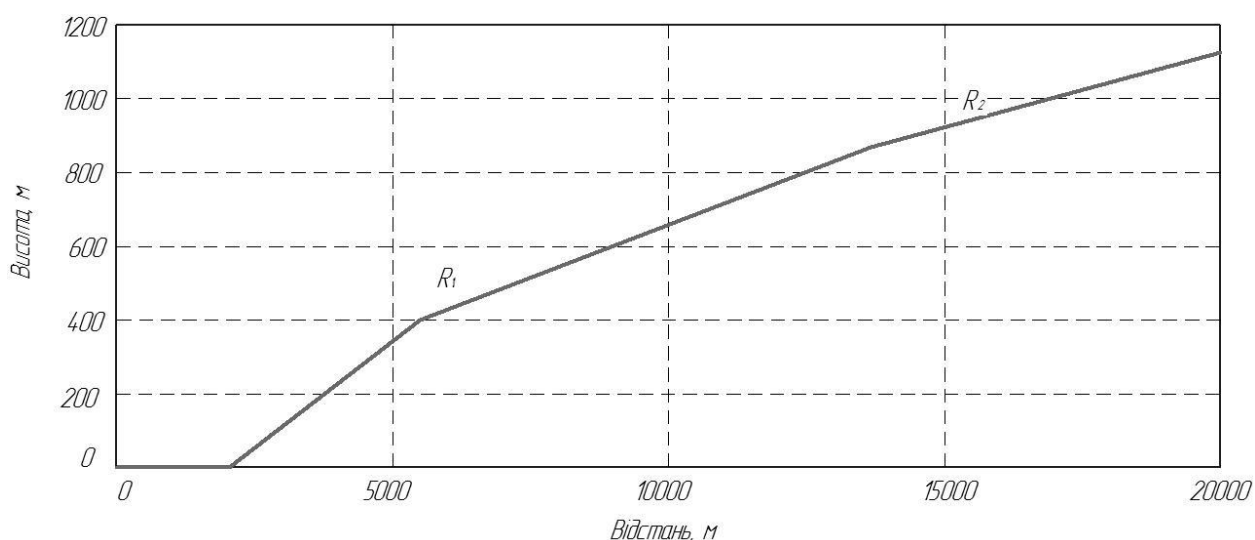


Рисунок 5.1 – Траєкторія радіусів шуму на відстанях 8 і 20 км від точки початку розбігу літака Боїнг 737 на ЗПС.

За допомогою побудови перпендикулярів з точок контролю до найближчого відрізка траєкторії: на рисунок 5.1 радіуси шуму дорівнюють:

$R_1 = 450$ м (точка контролю на відстані 8 км) і $R_2 = 1150$ м (точка контролю на відстані 20 км) відповідно.

Розраховуємо рівень шуму для данного типу ПС

$$L_{\text{АШРВ}} = A + B \lg R_{\text{ш}} + C(\lg R_{\text{ш}})^2$$

Для першої точки контролю (режим роботи двигун – максимальний):

$$L_{\text{АШРВ}} = A + B \lg R_{\text{ш}} + C(\lg R_{\text{ш}})^2 = 71,8 \text{ дБА}$$

Для другої точки контролю (режим роботи – номінальний):

$$L_{\text{АШРВ}} = A + B \lg R_{\text{ш}} + C(\lg R_{\text{ш}})^2 = 67,3 \text{ дБА}$$

Порівнюємо рівень шуму для кожної контрольної точки з нормативною величиною 85 дБА — для дня і 75 дБА — для ночі.

Результати розрахунку не перевищують нормативних значень тому даний тип ПС доцільно використовувати як в день так і вночі. Низькі рівні шумів обумовленні вдосконаленням акустичних характеристик двигунів CFM56-3, а також вдосконаленням форми крила, встановленням спеціальних закінцівок крила «Winglets» (рисунок 5.2).

Встановлення «Winglets» на літаки Боїнг дає наступні переваги:

- Покращення градієнту набору висоти (зменшення аеродинамічного шуму);
- Зниження підйомної тяги 3% (Зменшення шуму від двигунів на звітному режимі);
- Покращення продуктивність круїзу. Winglets може дозволити літаку досягти більш високих ешелонів. (зменшення шуму під час пролітання над населеними пунктами);

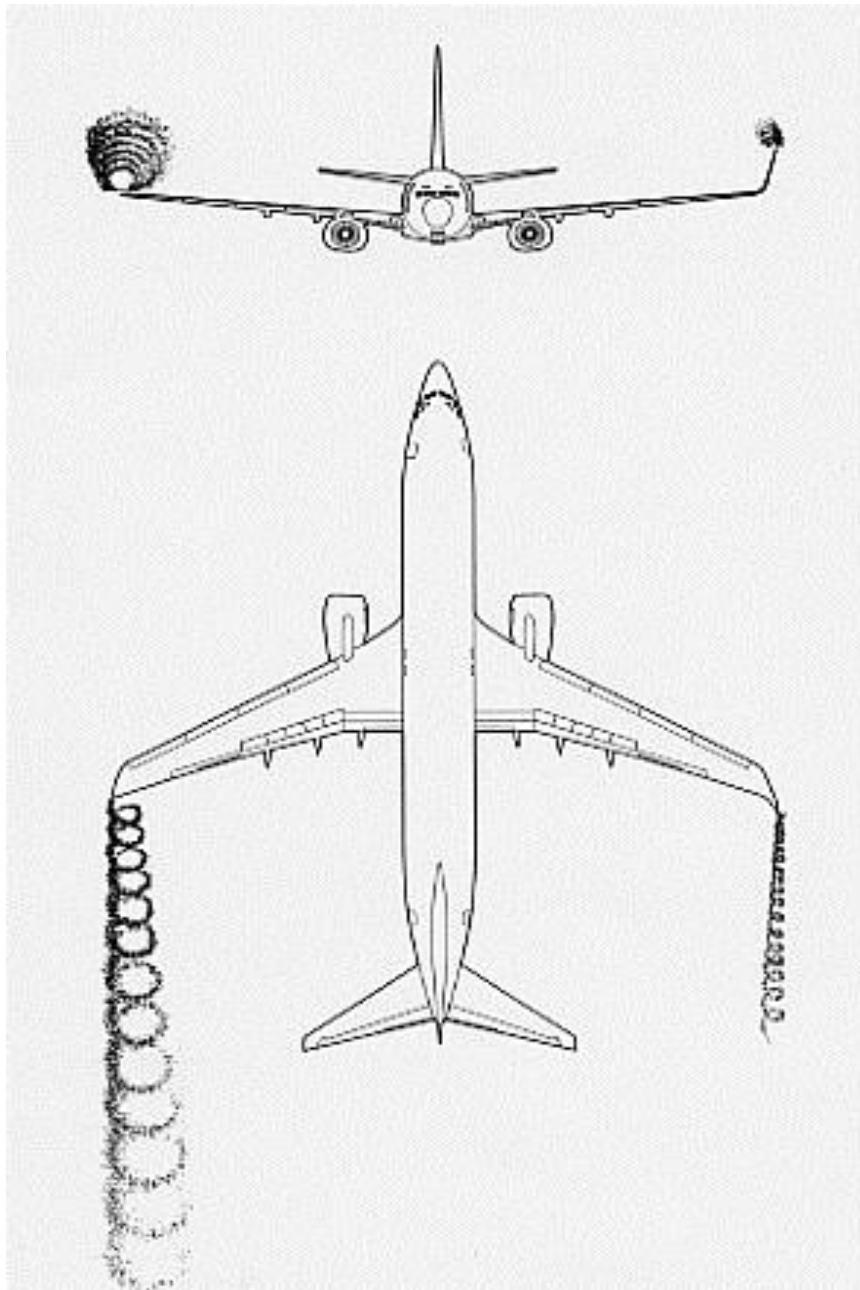


Рисунок 5.2 – Аеродинамічний потік на звичайному крилі і з встановленими «Winglets».

- Екологічно доцільні, зменшення викидів NOx на 5%, зниження загального рівня шуму на 6,5%.

Висновки до розділу 5

Охорона навколишнього середовища за останні роки стала однією з найважливіших проблем сучасності. Процеси впливу людини на природу збільшуються і можуть мати складно передбачувані наслідки, такі як: зміна клімату, зниження загальної біологічної продуктивності, порушення процесу фотосинтезу. Науково-технічний прогрес ускладнює взаємовідносини людини і природи. Авіаремонтні підприємства є досить вагомим джерелом забруднення навколишнього середовища, їх робота призводить до:

- забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами від роботи двигунів літаків;
- скидання неочищених стічних вод і шкідливих викидів з території авіаційного заводу в ґрунт, ріки, водоймища (такі домішки, як нафта і нафтопродукти (бензол і т.п.) навіть в незначних кількостях викликають неприємний запах і смак, який не зникають навіть після очищення води. Процеси промивки агрегатів і деталей приводять до появи в стічних водах великої кількості синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР). Надходження СПАР у водоймища супроводжується утворенням піни і появи неприємних присмаків і запахів. СПАР володіють особливою токсичністю і розкладання у воді відбувається дуже повільно);

- виникнення виробничих шумів;
- появи електромагнітних полів та іонізуючого випромінювання.

Для зменшення впливу вище перерахованих факторів необхідно:

- впроваджувати сучасні технології, що відповідають міжнародним екологічним стандартам;
- використовувати ресурсо- і енергозберігаючі технології;
- покращувати законодавчу базу захисту навколишнього середовища;
- проводити роз'яснювальні роботи з працівниками та населенням;
- суворо контролювати виконання усіх норм та правил щодо захисту навколишнього середовища.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі на основі аналізу дефектів конструкцій із полімерних композиційних матеріалів та технологій неруйнівного контролю запропоновані заходи, що спрямовані на підвищення надійності авіаційних конструкцій на основі ПКМ, а це, в свою чергу, повинно підвищити ефективність та якість ремонту за фактичним технічним станом, і в більшій мірі підвищити безпеку польотів.

1. Проведений аналіз міцнісних характеристик полімерних композиційних матеріалів, що використовують в авіаційних конструкціях, свідчить про найбільшу чутливість матеріалів до ударної дії і розтягу.

2. З точки зору низької завадозахищеності використання акустичних методів контролю з аналізом інформації за змінами амплітуди сигналів має суттєві недоліки.

3. Використання комп'ютерної системи обробки інформації акустичного контролю на основі системи спряження дефектоскопа із комп'ютером дозволяє значно підвищити чутливість контролю та збільшити число інформативних параметрів для оцінювання пошкоджень конструкцій з ПКМ.

На основі використання акустичних методів неруйнівного контролю розроблені заходи по їх вдосконаленню, що спрямовані на збільшення продуктивності праці, зменшення трудоємності контролю та ремонту, а в наслідок і підвищення якості ремонту конструкцій із ПКМ.

Таким чином, для контролю полімерних композиційних матеріалів при виробництві і на всіх стадіях життєвого циклу готових виробів і агрегатів доцільно застосування автоматизованих систем, що реалізують акустичний метод контролю. Застосування техніки фазованих решіток дозволяє забезпечити високу виявляємість дефектів, інформативність результатів контролю і можливість ідентифікації топології виявлених дефектів.

Запропоновані в дипломному проекті заходи по охороні праці дозволяють покращити умови праці.

1. Вперше на основі теорії лінійних випадкових полів побудована математична модель процесу ударної взаємодії для об'єкту контролю, яка дозволяє визначати його параметри за результатами експериментів.

2. На основі розробленої математичної моделі процесу ударної взаємодії запропоновано новий спосіб отримання інформативних сигналів, який полягає в рандомізації стимулюючої дії на об'єкт контролю, що дозволило значно спростити апаратні засоби та зменшити вплив випадкових факторів.

3. Запропоновані діагностичні ознаки для виявлення та ідентифікації дефектів композиційних матеріалів, які базуються на статистичних характеристиках параметрів імпульсів ударної взаємодії, що дозволило підвищити достовірність діагностики.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ

1. Білокур І. П. Акустичний контроль: Навчальний посібник. — К.: ІЗМН, 1997. — 244 с. - ISBN 5-7763-9230-7.
2. Білокур І. П. Основи дефектоскопії: Підручник. — К.: «Азимут-Україна», 2004. — 496 с..
3. Електричний, магнітний та електромагнітний види контролю: Конспект лекцій. МВ 02070855-80і-01 О. Є. Середюк. — Івано-Франківськ: Факел, 2001. — 170 с.
4. Методы и средства технической диагностики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://studopedia.ru/11_14864_osnovnie-printsipi-tehnicheskogo-diagnostirovaniya.html/ (дата обращения 20.04.2016).
5. Джером Г. ЧЕНДЛЕР Обнаружение и устранение расслоения в композитных конструкциях / Джером Г. ЧЕНДЛЕР// Авиатранспортное обозрение. -2012. -№134.
6. Сеницкий А. Что Делать с композитами/ Сеницкий А. // Авиатранспортное обозрение. - 2006. - №73.
7. Нацубидзе С.А. Перспективы применения полимерных композиционных материалов в конструкции планера современных воздушных судов / С.А. Нацубидзе //Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации России - 2012. Сборник трудов Всероссийской научно-практической интернет-конференции преподавателей, научных работников и аспирантов. -Иркутск.: ИФ МГТУ ГА, 2012. - с. 56-64.
8. Неразрушающий контроль: Справочник в 8 т. /Под общ. ред. В.В. Клюева. 2-е изд., испр. Т. 3. Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение. 2006 – 864 с.
9. Ланге Ю.В. Низкочастотные акустические методы и средства неразрушающего контроля многослойных конструкций //Контроль. Диагностика. 2004. №2. С. 39–46.

10. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерноінтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики» спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Р. М. Галаган; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

11. Кузнецов А.А. Диагностика состояния металлополимерных композиционных материалов во влажной среде: автореф. Дисс. канд. физ.-мат. наук: 01.04.01 / ВАК РФ. -Барнаул., 2003. - 25с.

12. Каблов Е.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. Релаксация ИСХОДНОЙ структурной неравновесности и градиент свойств по толщине /Е.Н. Каблов, В.Н. Кириллов, О.В. Старцев, А.С. Кротов //Деформация и разрушение материалов. -2010. -№ 12.

13. Басов Ф.А. Контроль Деформированного состояния и Диагностика поврежденных композиционных материалов с помощью чувствительных элементов на базе углеродных нитей: автореф. Дисс. канд. техн. наук: 05.11.13 /ВАК РФ. -М., 2006. -17с.

14. Руководство по летной эксплуатации DA 40 NG; введ. 2010-04-19. DIAMOND AIR RAFT INDUSTRIES GMBH. AUSTRIA -2010.

15. Ривин Г.Л. Ремонт конструкций из полимерных композиционных материалов летательных аппаратов; Ульяновский государственный технический университет. - Ульяновск: -1999. -77с.

16. Дмитрієв С.О. Людський фактор при технічному обслуговуванні авіаційної техніки [Текст]: навч. посібник / С.О. Дмитрієв, В.І. Бурлаков, Р.М. Салімов, Ю.П. Пучков, О.В. Попов; Мін-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т – Київ: Вид-во НАУ, 2011. – 184 с.

17. Handbook: manufacturing advanced composite components for airframes. Terry L. Price, George Dalley, Patrick C. McCullough, and Lee Choquette, Composites Training Center (CTC), Cerritos College, Norwalk, CA 90650, 225p.
18. Smith R. A., Jones L. D., Zeqiri B., and Hodnett M.(1998). Ultrasonic C-scan standardization for fiber-reinforced polymer composites – minimizing the uncertainties in attenuation measurements. Insight – journal of british institute of NDT 40p.
19. Titman, D.J., Application of thermography in NDT of structures. NDT&E International, 2001. 34: p. 149-154.
20. Hoskin, B. C., and Baker, A. A., Composite Materials for Aircraft Structures, AIAA Education Series, AIAA, New York, 1986.
21. Buynak, C., Cordell, T., Golis, M., "Air Force Research Laboratory Program for Nondestructive Testing of Composite Materials," 43rd International SAMPE Symposium, 1998, pp. 1724-1729.
22. Аналіз надійності парку повітряних суден України за 2013 рік. – К: Державна авіаційна адміністрація. Центр експлуатаційної надійності авіаційної техніки при НАУ, 2014-96 с.
23. Composite materials for aircraft structures / Alan Baker and Donald Kelly, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Virginia, 602p.
24. Особливості експлуатації і технічного обслуговування планера та функціональних систем повітряних суден у складних природно-кліматичних умовах: курс лекцій / С.О. Дмитрієв, О.С. Тугарінов, Ю.М. Чоха ; Нац. авіац. ун-т. - К. : [б. и.], 2005. - 139 с.
25. Кудрін А.П., Хижко В.Д., Зайвенко Г.М. та ін. Ремонт повітряних суден і авіадвигунів.: Підручник.-К.:НАУ,2002.-492с.
26. Алябьев А.Я., Зайвенко Г.М., Волосович Г.А. Основы ремонта авиационной техники. Организация ремонта, подготовка производства и определение технического состояния авиационной техники при ремонте.: Учеб.пособие.-К.:КИИГА,1992.-142с.

27. Алябьев А.Я., Зайвенко Г.М., Волосович Г.А. Основы ремонта авиационной техники. Восстановление работоспособности деталей.: Учеб.пособие.-К.: КИИГА,1992.-96с.

28. W. Hillger: Ultrasonic Testing of Composites - From laboratory Research to In-field Inspections, WCNDT Rom 2000, 15. -21.10. 2000, Conf. Proc. on

29. W. Hillger, L. Bühling, D. Ilse: Scanners for Ultrasonic Imaging Systems, 11th European Conference on Non-destructive Testing, October 6-10, 2014, Prague, Czech Republic, Conf. Proc.

30. Джур Є.О., Манько Т.А. та ін. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник. – К.: Вища освіта, 2003. – 399с.: іл.

31. Животовська К.А., Животовський М.О., мамлюк О.В., Косовський І.Г.; Під ред. Терещенка Ю.М. Авіаційні матеріали та їх обробка: Підручник. – К.: Вища освіта, 2003. – 304 с.

32. Овсянкин А.М. и др. Дефектология и обеспечение качества в производстве и эксплуатации авиационной техники: Конспект лекций. – К.: НАУ, 2001. – 148 с.

33. Фрегер Г.Е., Аптекарь М.Д, Игнатьев Б.Б., Чесноков В.В., Меликбемян А.Х., Коструб В.А. Основы механики и технологии композиционных материалов: Учебное пособие. – К.: Аристей, 2004. – 524 с.

34. ДНАОП 0.01-1.01-95 Правила пожежної безпеки в Україні

35. ДНАОП 0.03-8.03-97 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу

36. ДНАОП 5.1.30 -1.06 -98 Правила безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки.

37. Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. Вісник аграрної науки. серпень 2017. С. 5. URL: http://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_08_01.pdf.

38. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Мінагрополітики України, Державний технологічний центр охорони родючості ґрунтів, НААНУ, Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К., 2010. URL: http://www.iogu.gov.ua/wpcontent/uploads/2013/07/stan_gruntiv.pdf.

39. ЗАПОРОЖЕЦЬ, О. І., et al. Основи охорони праці. Підручник. К.: Центр учбової літератури, 2009.

40. Маджд, Світлана. "НАУКОВІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ." EUROPEAN DIMENSIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT (2020).

41. ІСАЄНКО, В. М., et al. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. К.: Вид-во НАУ-друк, 2009.

42. Туревич, А. О. ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ. In Інноваційні технології: Матеріали наук.-техн. конф. студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених/за заг. ред. Горінова ПВ, Бабікової КО, Мельничук ЛМ; ІНТЛ НАУ (м. Київ, 25-26 листоп. 2020 р.). Київ, 2020. 422 с. (р. 53).