

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ И НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

О. М. Застела, І. О. Воронько

**ВИПРОБУВАННЯ ЛІТАКІВ І ЇХНІХ СИСТЕМ
В ОСНОВНИХ І СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЦЕХАХ
АВІАПІДПРИЄМСТВА НА РІЗНИХ СТАДІЯХ
ВИРОБНИЦТВА**

Навчальний посібник

Харків „ХАІ” 2017

УДК 629.735.33.018.4.002 (075.8)
ББК 39.53 Я73
3-36

Рецензенти : д-р техн. наук, проф. С. С. Добротворський,
д-р техн. наук, проф. О. М. Мамлюк

Застела, О. М.

3-36 Випробування літаків і їхніх систем в основних і спеціалізованих цехах авіапідприємства на різних стадіях виробництва [Текст]: навч. посіб. / О. М. Застела, І. О. Воронько. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 64 с.

ISBN 978-966-662-551-2

Подано основні поняття і класифікацію випробувань обладнання літака, а також описано комплексні випробування на льотно-випробувальній станції і аеродромне відпрацювання систем літака на авіаційному підприємстві. Розглянуто основні методи контролю герметичності конструкцій і принципові схеми реалізації неруйнівного контролю. Наведено принципи ультразвукової дефектоскопії, магнітного контролю і розрахунки соленоїда.

Для студентів, які вивчають дисципліни за спеціальністю 8.05110104 «Технологія виробництва літальних апаратів».

Іл. 17. Табл. 4. Бібліогр.: 5 назв

УДК 629.735.33.018.4.002 (075.8)
ББК 39.53 я 73

© Застела О. М., Воронько І. О., 2017
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2017

ISBN 978-966-662-551-2

Зміст

Вступ	4
1 Основні поняття і класифікація випробувань	4
1.1 Завдання випробувань.....	6
2 Випробування обладнання літака в основних цехах авіаційного виробництва	13
2.1 Організація неруйнівного контролю на підприємстві. Основні принципи та завдання служб контролю.....	13
2.1.1 Магнітний метод контролю.....	16
2.1.2 Оптичний контроль.....	21
2.1.3 Теплові методи контролю суцільності.....	23
2.2 Контрольно-випробувальні роботи в цеху остаточного складання.....	24
3 Комплексні випробування і аеродромне відпрацювання систем літака на авіаційному підприємстві	27
3.1 Відпрацювання і контроль систем на контрольно-випробувальній станції.....	27
3.2 Комплексні випробування на льотно-випробувальній станції.....	30
4 Організація випробувань серійних виробів	34
4.1 Пред'явницькі випробування.....	34
4.2 Періодичні випробування.....	37
4.3 Типові випробування.....	38
4.4 Сертифікаційні роботи.....	39
Лабораторна робота № 1. Контроль герметичності конструкцій.....	41
Лабораторна робота № 2. Розрахунок соленоїдів змінного струму для намагнічування і розмагнічування сталевих деталей при магнітному контролі.....	50
Лабораторна робота № 3. Ультразвукова дефектоскопія деталей і вузлів ЛА.....	58
Бібліографічний список.....	63

ВСТУП

Підготовка літака або вертольота до льотних випробувань, випробування на землі і в повітрі, здавання готового виробу його замовникам є останнім етапом виробничого процесу на літакобудівному заводі. Трудомісткість цього етапу становить 10–20 % від загальної трудомісткості виробництва літака.

Сюди входять такі види робіт:

1. Приймання літака з цеху остаточного складання (ЦОС) і транспортування його на льотно-випробувальну станцію (ЛВС). При цьому виконують послідовний зовнішній огляд літака згідно з інструкцією, перевірку комплектності бортового устаткування і додають документацію. Потім літак буксирують на робочий стенд ЛВС. Робочі стенди являють собою відпрацьовувальні майданчики, бокси або криті ангари з необхідним оснащенням.

2. Перевірка, випробування і відпрацьовування бортових систем літака. Все бортове обладнання перевіряють на комплексне функціонування і взаємодію за допомогою діагностичних контрольних випробувальних станцій (КВС). Відпрацьовування і контроль бортових систем виконують заздалегідь за підготовленими програмами, що моделюють умови експлуатації. У цьому процесі відпрацьовують системи електронного радіозв'язку літака і систему шасі, перевіряють роботу радіолокаційного обладнання, контролюють роботу комплексу систем з керування літаком і всього комплексу гідрогазових систем, а також контролюють і коректують показання магнітних приладів і радіокомпасів на спеціальному девіаційному майданчику з поворотним кругом (тут фіксують можливі відхилення показників курсу літака від справжніх напрямків).

3. Випробування двигуна на землі і відпрацьовування паливної системи літака. Літак заправляють паливом і перевіряють (згідно з інструкцією) герметичність паливної системи після 12 годин відстоювання в заправленому стані. Потім виконують контрольне зливання палива для перевірки показників його рівня і сигналізатора критичного залишку палива.

4. Підготовка літака до льотних випробувань. Передполітний огляд також виконують послідовно зовні і всередині літака; заправляють системи літака паливом, стислим повітрям, гідросумішшю і киснем; перевіряють аварійні люки і катапультуюче сидіння. Перед зльотом перевіряють роботу двигунів, справність радіозв'язку.

5. Льотні випробування. Тут перевіряють: злітно-посадкові характеристики, швидкопідйомність, горизонтальні й вертикальні швидкості, стійкість і керованість літака, дальність польоту.

6. Післяполітне відпрацьовування. Проводять його з метою усунення виявлених у випробувальних польотах відмов, дефектів. При цьому

зауваження екіпажу і об'єктивні дані телеметрії (на електромагнітному носії інформації про параметри польоту) аналізують і виявляють причини відмов систем. Після усунення дефектів профіль польоту повторюють.

Потім літак передають замовникові після оформлення акту здавання.

Для скорочення циклу аеродромного відпрацьовування літака на ЛВС організують **поточно-стендову** форму робіт. На окремих стендах відпрацьовування літака широко використовують сучасні об'єктивні засоби діагностики бортових систем у вигляді контрольних-випробувальних станцій, а також інші засоби механізації і автоматизації контрольних-випробувальних операцій. Для скорочення всього циклу робіт реалізують максимально можливе паралельне виконання робіт з окремих завдань на стенді, а також бригадне закріплення виконавців за окремими літаками.

Ритмічній роботі в аеродромному цеху сприяє затверджений цикловий графік із заданою періодичністю здавання літаків.

Забезпечення необхідного рівня якості продукції, що випускається, пов'язане з використанням сучасного підходу в організації неруйнівного контролю на підприємстві. Організація контролю якості продукції – це система технічних і адміністративних заходів, які спрямовані на забезпечення нормативного рівня якості, у першу чергу завдяки активному впливу перевірок на технологічний процес, а також незалежності органів технічного контролю з використання сучасних методів неруйнівного контролю (МНК).

Цими методами встановлюють рівень якості (норми бракування). Без контролю неможливо встановити рівень якості продукції. Дефекти, які виявлено МНК, як правило, знаходять опосередковано. Пошуки дефектів шляхом дослідження змін фізико-механічних характеристик матеріалів і є фізичною основою МНК. Найчастіше ці методи використовують для визначення несучільностей в матеріалі напівфабрикатів і деталей (тріщин різного походження, раковин, пористості та ін.). Треба враховувати, що універсальних МНК немає, а їх переваги полягають у можливості контролю на різних етапах виготовлення і експлуатації, вивчення змін властивостей і структури матеріалу виробів, а також виникнення в них дефектів.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ВИПРОБУВАНЬ

1.1 Завдання випробувань

У виробництві ЛА важливе місце займають процеси випробування і контролю, метою яких є забезпечення високої надійності ЛА, його здатність виконувати в повному обсязі задані функції.

У наш час трудомісткість випробувальних і контрольованих процесів становить близько 20 % від загальної трудомісткості виготовлення ЛА і постійно зростає.

Деякі випробування мають категорії, що поділяють на види, які визначаються рівнем, етапами розроблень, а також випробуваннями готової продукції.

Однією з найважливіших ознак будь-яких випробувань є прийняття на основі їх результатів певних рішень. Іншою ознакою є завдання певних умов випробувань (реальних або модельованих), під якими розуміють сукупність впливів на об'єкт і режимів його функціонування.

Характеристики об'єкта при випробуваннях можна визначати як в процесі функціонування об'єкта, так і за відсутності функціонування за наявності впливів до і після їх застосування.

Випробування і контроль проводять на всіх стадіях створення ЛА, починаючи з розроблення конструкції, виготовлення і постачання готових виробів і закінчуючи його запуском.

При виготовленні деталі, комплекти, агрегати виробів контролюють із застосуванням неруйнівних методів на різних стадіях авіаційного виробництва.

Для забезпечення випуску виробів систему випробувань побудовано таким чином, що після виготовлення в однакових умовах надійність партії виробів оцінюється при випробуваннях із граничними навантаженнями на контрольних зразках із числа цих виробів.

Готовність інших виробів до польоту визначають під час спеціальних приймальних випробувань із навантаженнями, близькими до експлуатаційних. Таким чином, в основі системи випробувань лежить принцип аналогії льотних зразків виробів з контрольними, що забезпечується однаковістю не тільки конструкцій, а й технологій виготовлення, а також контрольно-технологічними випробуваннями.

Результати посиленних випробувань контрольних зразків виробів переносять на льотні зразки, які цих випробувань не проходили, що дозволяє зберегти їх ресурс роботи. Контроль і випробування проводять на всіх етапах виготовлення ЛА, починаючи з контролю вихідних властивостей матеріалів, поставок і закінчуючи запуском.

Під **контролем** розуміють перевірку відповідності виробу встановленим технічним вимогам, перевірку кількісних і якісних характеристик властивостей продукції.

Під **випробуваннями** розуміють експериментальне визначення

параметрів і показників якості продукції в процесі функціонування або при імітації умов експлуатації, а також при відтворенні впливу на продукцію за заданою програмою.

Випробування прийнято класифікувати за категоріями, видами та методами, а контроль – за видами і методами.

Категорія випробувань – це група випробувань, що характеризуються однаковими організаційними ознаками проведення і прийняттям рішень за результатами оцінювання об'єкта в цілому. Дослідному і серійному виробництвам відповідають різні категорії випробувань.

Вид випробувань – це класифікаційна група випробувань за певною ознакою, в першу чергу за параметрами, що перевіряють, і характером впливу. При цьому різні види випробувань проводять у рамках тих або інших категорій.

Вид випробування часто визначається місцем і строком його проведення, а також впливом відповідних чинників на параметри, які перевіряють.

Метод випробувань – правила застосування певних принципів і засобів, до яких належать зареєстровані при дослідженнях характеристики властивостей об'єкта і (або) умов випробувань для подальшого оброблення.

Характеристики властивостей об'єкта оцінюють, якщо завдання випробувань – це отримання кількісних оцінок, і контролюють, якщо таким завданням є тільки встановлення відповідності характеристик об'єкта заданим вимогам.

Найважливішою ознакою випробувань є прийяття на основі результатів певних рішень. Іншою їхньою ознакою є завдання певних умов випробувань (реальних або модельованих).

Характеристики об'єктів під час випробувань можна визначати як при функціонуванні об'єкта, так і за відсутності функціонування, за наявності впливів до або після їх застосування.

Об'єктом випробувань є продукція, яку піддають випробуванням. Головна ознака об'єкта випробувань – це можливість за результатами випробувань прийняти те чи інше рішення щодо його придатності або непридатності, а також можливість серійного випуску продукції та ін.

Поняття "**засоби випробувань**" означає будь-які технічні засоби, що застосовуються при випробуваннях, перш за все це – випробувальне обладнання, засоби вимірів, допоміжні технічні пристрої для кріплення об'єктів випробувань, реєстрації і оброблення результатів, а також основні й допоміжні речовини і матеріали, що використовуються при випробуваннях.

Поняття "**умови випробувань**" містить сукупність чинників і (або) режимів функціонування об'єкта при випробуваннях. До умов випробувань належать зовнішні діючі чинники як природні, так і штучно створювані,

внутрішні впливи, що викликані функціонуванням об'єкта, а також режими роботи об'єкта, способи і місце його установки, монтажу, кріплення, швидкість переміщення та ін.

Результат випробувань – це оцінювання характеристик властивостей об'єкта, встановленої відповідності об'єкта заданим вимогам за даними випробувань, підсумкове значення якості функціонування об'єкта в процесі випробувань.

Випробування класифікують: за призначенням, рівнем їх проведення, етапами розроблення продукції, перевіркою готової продукції, умовами і місцем проведення, тривалістю, видами впливу, результатами впливу, певними характеристиками об'єкта (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація видів і методів випробувань

Класифікаційна ознака	Випробування
Призначення випробувань	Дослідницькі
	Контрольні
	Порівняльні
	Визначальні
Рівень проведення	Державні
	Міжвідомчі
	Відомчі
Етапи розроблення продукції	Відпрацьовувальні
	Довідні
	Попередні
	Приймальні
Випробування готової продукції	Кваліфікаційні
	Пред'явницькі
	Приймально-здавальні
	Періодичні
	Інспекційні
	Типові
	Атестаційні
	Сертифікаційні
Означувані характеристики об'єкта	Функціональні
	Надійні
	Безпечні
	Міцнісні
	Стійкі
	Транспортабельні
	Граничні
	Технологічні

Дослідницькі випробування – це випробування, що проводять для вивчення певних характеристик об'єкта. Їх мета:

1) визначення або оцінювання показників якості функціонування об'єкта в певних умовах його застосування;

2) вибір найкращих режимів використання або кращих показників властивостей об'єкта;

3) порівняння безлічі варіантів реалізації об'єкта під час проектування і атестації.

Контрольні випробування – це випробування, що проводять для контролю якості об'єкта.

Порівняльні випробування – випробування аналогічних за характеристиками або однакових об'єктів, що здійснюються в ідентичних умовах для порівняння характеристик їх властивостей.

Визначальні випробування – це випробування, що стосуються визначення характеристик об'єкта з заданими значеннями показників точності і (або) достовірності.

Метою **відпрацьовувальних випробувань** в умовах дослідного виробництва є відпрацювання конструкції ЛА і технологічних процесів його виготовлення, а також перевірка відповідності всіх параметрів і характеристик заданим в технічному завданні (ТЗ). При автономних відпрацьовувальних випробуваннях об'єктом є вузли і агрегати ЛА, а при комплексних – ЛА в складанні. Автономні випробування містять три етапи: конструкторський, довідний і чистовий.

Визначення обсягу, програми й технології випробувань є досить складним завданням в кожному конкретному випадку. Незважаючи на значні відмінності випробувань різних складальних одиниць і виробу в цілому, вони становлять певну систему, що складається з окремих, логічно пов'язаних між собою етапів, які виконуються за спеціальними програмами під час проектування, виготовлення і експлуатації ЛА.

Довідні випробування проводять для підтвердження працездатності вибраної конструкції. На цьому етапі допускають змінення конструкції елементів виробу і уточнюють технологічний процес випробувань. **Чистові випробування** проводять для підтвердження необхідної працездатності складальної одиниці відповідно до коригувань за результатами конструкторських і довідних випробувань. Комплексні випробування ЛА здійснюють з метою відпрацювання всього комплексу систем, вузлів, агрегатів і відсіків, а також визначення відповідності експлуатаційно-технічних характеристик ЛА заданим в технічному завданні (ТЗ).

Відпрацьовувальні випробування проводять як на дослідному виробництві ДКБ (дослідно-конструкторському бюро), так і на заводі-виготовлювачі.

Після освоєння у виробництві технології виготовлення вузлів, агрегатів, елементів автоматики та інших приладів проводять контрольно-технологічні випробування, включаючи випробування встановленої партії, приймально-здавальні, контрольно-вибіркові, періодичні й типові.

Випробування встановлюваної партії проводять при поставці у виробництво нових виробів для невеликих партій (3–5) досліджуваних об'єктів одного найменування, виготовлених за розробленою технологією і які пройшли звичайні приймальні випробування. Програма випробувань встановлювальної партії виробів для ЛА містить випробування на міцність, герметичність, вібро- і ударні випробування, випробування на функціонування, циклічні випробування на повторне навантаження, визначення фактичного тиску руйнування та ін.

При позитивних результатах випробувань установлювальної партії ухвалюють рішення про виробництво штатних складальних одиниць виробів.

Приймально-здавальні випробування проводять для всіх виготовлених деталей, складальних одиниць і виробу в цілому з метою перевірки відповідності їх технічним умовам. Програми випробувань розробляють для кожної складальної одиниці і виробу. Вони можуть містити такі види контролю: перевірку вихідних геометричних параметрів, визначення маси, центру мас, міцності виробів, контроль їх герметичності й функціонування, встановлення обсягів і критичних залишків палива в ємностях, перевірку бортових кабельних мереж, чистоти внутрішніх порожнин та ін.

Повністю зібрані вироби проходять заводські приймально-здавальні випробування на спеціальній контрольно-випробувальній станції (КВС).

Контрольно-вибіркові випробування здійснюють з метою періодичної перевірки стабільності технологічного процесу і якості складальних одиниць і виробу в цілому. Ці випробування проводять вибірково для невеликої (до 10 %) кількості вузлів від кожної пропонованої партії. У разі незадовільних результатів випробування виконують повторно з використанням подвійної кількості вузлів (виробів). При одержанні знову незадовільних результатів партію поданих вузлів (виробів) бракують. Виготовлення й подання нової партії вузлів (виробів) є можливим лише після виявлення і усунення причин виникнення браку.

На відміну від приймально-здавальних випробувань контрольно-вибіркові випробування проводять на граничних навантаженнях і режимах.

При певній перерві у виготовленні розглянутих виробів і в ряді інших випадків, передбачених технічною документацією, здійснюють періодичні випробування, а при коригуванні конструкторсько-технологічної документації – типові.

Типові випробування проводять у разі внесення змінень у конструкцію або технологію виготовлення агрегату, вузла, системи або відсіку ЛА, які можуть вплинути на їхні характеристики, з метою оцінювання ефективності й доцільності цих змінень.

Періодичні випробування здійснюють з метою контролю стабільності технологічного процесу виготовлення складальних одиниць ЛА і підтвердження можливості продовження їх виготовлення. Періодичні випробування слід проводити не рідше одного разу на рік щодо

складальних одиниць виробів будь-якої партії, прийнятій за контрольними вибірковими випробуваннями протягом даного року.

Основним документом для проведення досліджень є "Програма і методика випробувань" і для категорій випробувань на етапі серійного виробництва – "Технічні умови". В них встановлено об'єкт і цілі досліджень, види, послідовність і обсяг проведених експериментів, порядок, умови, місця і терміни випробувань, їх забезпечення й звітність за ними. В цих документах вказано метод і засоби випробувань, вимоги техніки безпеки і охорони навколишнього середовища.

Випробування, що характеризуються місцем, можна поділити на **лабораторні, стендові, полігонні й натурні**.

Випробування, що визначаються часом, поділяють на **нормальні**, проведення яких забезпечує отримання необхідного обсягу інформації про характеристику і властивості об'єкта в часі, передбаченому умовами експлуатації, і **прискорені** – методи і умови проведення яких забезпечують одержання необхідної інформації про характеристику і властивості об'єкта в більш короткий термін, ніж при нормальних випробуваннях.

Випробування, що характеризуються діючими чинниками, поділяють на **механічні, кліматичні, термічні, радіаційні, електромагнітні, електричні, магнітні, хімічні, біологічні, неруйнівні й руйнівні**.

Випробування, що визначаються перевірними параметрами, поділяють на **випробування на стійкість**, за результатами яких встановлюють здатність виробу виконувати свої функції і зберігати значення параметрів у межах зазначених норм під час дії на нього певних чинників, і **випробування на міцність** – для визначення чинників, що впливають на характеристики об'єкта або спричиняють його вихід за допустимі межі або межі його руйнування.

Слід зазначити, що систему контролю й випробувань ЛА будують виходячи з певних принципів, які враховують специфіку їх конструкції, умови виробництва і експлуатації, вартість та ін.

Усі випробування, що мають забезпечувати достатньою інформацією випуск ЛА з необхідною надійністю, слід проводити на апаратах, виготовлених за прийнятою технологією. Контроль і випробування необхідно здійснювати таким чином, щоб наявні дефекти виявлялися на більш ранніх етапах виготовлення, на більш низьких рівнях складання літаків. Контрольні й випробувальні операції доцільно проводити як можна ближче до тих складальних операцій, де можуть виникати очікувані дефекти.

Програма має містити перелік випробувань всіх видів навантажень, яким апарат піддається при наземній підготовці та в польоті. Ряд чинників, що впливають на це (вакуум, невагомність, радіація), створюються імітацією. У тих випадках, коли випробування пов'язані з виробленням ресурсу або небезпекою пошкодження випробуваного об'єкта, паралельно

з льотними за тією ж технологією виготовляють спеціальні зразки для випробувань. Подібним випробуванням піддають як мінімум два об'єкти: один – граничним максимальним руйнівним навантаженням з метою визначення запасу за його певним типом (наприклад, запасом міцності), а другий – майже експлуатаційним навантаженням в тривалому режимі (до руйнування) для визначення запасу за ресурсом. Всі льотні і випробувальні зразки апаратів проходять контрольно-технологічні випробування за програмою, складеною для льотних зразків, після чого випробувальні зразки надходять на випробування на граничні навантаження. Рівень випробувальних навантажень має забезпечувати необхідний запас за певним типом впливу, але не надто перевищувати реальні умови, так як відмови при завищених умовах випробувань можуть призвести до непотрібних перероблень конструкції, її обважнювання, проведення повторних випробувань. Тривалість випробувань льотних зразків є строго регламентованою і має бути мінімальною. В деяких випадках приймають тривалість, що дорівнює тривалості одного циклу роботи апарата на землі і двох циклів роботи його в польоті.

Важливим принципом випробувань є принцип подібності, коли граничні можливості конструкції визначають на випробувальних зразках, а придатність апарата до польоту – на робочих зразках при навантаженнях, що дорівнюють експлуатаційним. Робочі і випробувальні зразки виготовляють за однаковою технологією.

Випробування комплексного впливу експлуатаційних чинників бажано проводити на повністю складеному ЛА, коли раніше виявлені дефекти усунуто, а нові дефекти, що з'явилися – результат взаємного впливу окремих елементів. Такі випробування обов'язково вводять у програму приймальних випробувань льотних зразків. Результати попередніх випробувань слід враховувати при проведенні випробувань вищого рівня (не має бути дублювання).

Випробування щодо функціонування і цілісності комунікацій бортової апаратури і автоматики необхідно проводити за принципом послідовно зростаючого рівня повторних випробувань, що дозволяє найшвидше виявити дефектні елементи. Після цього дефекти необхідно проаналізувати, усунути, а об'єкт має пройти повторні випробування в установленому обсязі. Їх за повною програмою проводять також у разі внесення принципів змінень у конструкцію, технологію або обладнання.

Усі наземні випробування мають бути закінчено до проведення льотних.

З партії виробів, що пройшла заводські приймально-здавальні випробування, один виріб піддається льотним випробуванням. Для отримання максимально можливої інформації про роботу систем ЛА в процесі польоту його дообладнують додатковими датчиками (телеметричний варіант).

2 ВИПРОБУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА В ОСНОВНИХ ЦЕХАХ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Організація неруйнівного контролю на підприємстві. Основні принципи і завдання служб контролю

Якість є комплексним параметром матеріалів і виробів. Вона безпосередньо є пов'язаною з якістю проектування або розроблення виробу, його виробництвом і експлуатацією. Тому організація служби контролю якості охоплює практично всі сфери і етапи науково виробничої діяльності людини. Структура служби контролю якості значною мірою залежить від структури й типу підприємства і його виробничих завдань. Одним з найважливіших елементів контролю і забезпечення якості продукції є дотримання принципів керування якістю. Ці принципи полягають у встановленні, забезпеченні та підтриманні необхідного рівня якості продукції при її розробленні, виробництві і експлуатації, здійснюваних шляхом систематичного контролю якості і цілеспрямованого впливу на умови і чинники, що характеризують якість продукції. Контроль якості є складовою частиною системи керування якістю.

Організацією контролю якості продукції називають систему технічних і адміністративних заходів, спрямованих на забезпечення нормативного рівня якості: вивчення контрольованого об'єкта, природи якості матеріалів і виробів; підвищення рівня якості й надійності продукції в першу чергу шляхом активного впливу контролю на технологічний процес, забезпечення незалежності органів технічного контролю і приймання виробів від персоналу.

Основними завданнями служби контролю є:

- систематично і своєчасно контролювати якість матеріалів і виробів, технологічні (складально-монтажні) роботи, якість виготовленої продукції, технічний стан виробів у процесі експлуатації з використанням необхідних способів і засобів контролю відповідно до вимог чинної документації;
- запобігати передачі бракованої продукції для виконання наступних технологічних операцій або здавання її замовникові;
- сприяти підвищенню якості конструкторських, технологічних, монтажних, ремонтних та інших робіт;
- приймати виконані операції і роботи з оформленням необхідної технічної документації та брати участь у здаванні матеріалів і виробів замовникові;
- застосовувати організаційно-технічні заходи, спрямовані на запобігання браку і поліпшення якості розроблення й виготовлення виробів, а також на підвищення технічного рівня експлуатації виробів;
- проводити лабораторні дослідження щодо неруйнівного контролю міцності й герметичності матеріалів і виробів;
- розробляти і вдосконалювати методи, засоби контролю, а також

організувати контроль якості нових видів матеріалів і виробів.

Структура підрозділів контролю.

На сучасних підприємствах створюють єдині комплексні відділи (лабораторії) неруйнівного контролю (НК). Приблизну структуру відділу НК показано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура підрозділу неруйнівного контролю

Усі групи, що входять до складу підрозділу, мають бути територіально розміщеними в загальному комплексі. Використання джерел іонізуючого випромінювання обумовлює необхідність створення захисних засобів і безпечних умов для роботи операторів та осіб, які перебувають у сусідніх приміщеннях.

Планування приміщень для відділу НК у більшості машинобудівних підприємств є однаковим.

У загальному випадку служби дефектоскопії мають проводити контроль матеріалів і виробів всіма методами НК. У зв'язку з цим у приміщенні відділу передбачають пультову і апаратну для радіаційної апаратури, розшифрувальну і фотокімнату, а також сховище ізотопів, яке обладнане камерою для перезарядження гамма-апаратів.

Електрофізичну групу, що працює з електромагнітними, магнітними, оптичними, ультразвуковими та іншими методами контролю, розміщують у двох суміжних приміщеннях, а групу, яка займається капілярними методами (через застосування токсичних компонентів) – в окреме приміщення.

У складі лабораторії необхідно передбачити комору і майстерню для підготовки зразків, ремонту апаратури, виготовлення пристосувань, приміщення для конструкторської групи (вона займається модернізацією апаратури і автоматизацією процесів контролю), а також побутові приміщення.

Якщо об'єкти для контролю розташовані на значній відстані і на різних виробничих ділянках, організують базову лабораторію, яка обслуговує за відомчою або територіальною ознакою. У цьому випадку або вироби доставляють в лабораторію, або її працівники виїжджають на

об'єкт. Найбільш раціонально в таких умовах створити пересувну експрес-лабораторію. Такі дефектоскопічні лабораторії розміщують в автобусах або закритих автомобілях.

Відділ (лабораторія) дефектоскопії машинобудівних і металургійних підприємств входить до складу служби головного металурга, головного зварника або центральної заводської лабораторії (ЦЗЛ), іноді відділу технічного контролю (ВТК). З огляду на великий вплив результатів роботи цих служб на якість продукції найбільш доцільно підпорядковувати їх заступникові керівника підприємства щодо якості продукції або головному інженерові.

Структура відділу НК може бути різною залежно від умов виробництва і вимог до якості продукції.

У фізичних лабораторіях (групах) працюють над освоєнням і налагодженням апаратури і розробленням методик, а також над їх впровадженням. Усі освоєні прилади і розробки передають у служби контролю цехів. У деяких випадках створюють спеціальні групи НК у складі служб цехового контролю, що працюють під методичним керівництвом відділу НК. На чолі окремих підрозділів НК і в їх складі обов'язково має бути інженер відповідної спеціальності.

Якщо відділ дефектоскопії не входить у комплекс ЦЗЛ, то в штатному розкладі слід передбачати посади металознавця або хіміка. Як правило, в заводських лабораторіях неможливою є вузька спеціалізація працівників. Тому необхідно знати всі методи (способи) НК, а також функціональні особливості приладів для вимірювань.

Взаємозв'язки служб контролю з іншими підрозділами підприємства

Структура служби контролю якості в заводських (цехових) умовах має забезпечувати виконання попереджувальної і приймальної функцій контролю. Тому поряд із працівниками служб контролю в роботі з контролем якості мають брати участь технологи, конструктори, працівники служб надійності. Їхньою задачею, в першу чергу, є аналіз і усунення причин появи неякісних матеріалів і виробів.

Відомості про дефекти мають обов'язково містити статистику їхніх виправлень. Наявність даних, що стосуються тільки остаточного браку, робить систему контролю і керування якістю неефективною через неподавання в процесі випробувань статистичних відомостей про дефекти і їхні причини.

Досвід контролю свідчить, що під час проектування рівень браку в кілька разів вище, ніж при виготовленні виробів у заводських умовах. Особливо це характерно при освоєнні нових варіантів технології. Через втручання технологів контроль часто не є достовірним і об'єктивним.

Основним документом, керуючись яким в лабораторії проводять контроль якості виробів, є карта контролю. Правильно складена карта

виключає необхідність використання робочих креслень на всю номенклатуру контрольованих виробів і спеціальних журналів для реєстрації умов контролю. Технічну карту складають на кожен виріб, який підлягає контролю, для конкретних умов. У разі підвищених вимог до виробу створюють еталонну дефектограму з допустимими і недопустимими дефектами, яку прикладають до контрольної карти. На виробках, визнаних придатними, ставлять клеймо. Результати контролю заносять у журнал і за необхідності видають протокол випробувань.

Система контролю має максимально відповідати особливостям об'єкта контролю, що може бути досягнуто за рахунок модульної її побудови. Застосування комплексу модулів (блоків) для побудови систем автоматичного контролю економить час і кошти розробника і виробника цих систем. Використання виробів інтегральної мікроелектроніки дозволило зменшити габаритні розміри блоків і підвищити їхню надійність. Особливо значущими є переваги застосування блокових систем порівняно з серійними дефектоскопами при побудові багатоканальних систем контролю, що забезпечують високу продуктивність виробів. Особливо слід виділити необхідність створення різних пристосувань, призначених для механізації процесу контролю. Такі пристосування є особливо зручними при невеликому обсязі контролю.

Метрологічне забезпечення засобів неруйнівного контролю (ЗНК) розуміють як комплекс заходів, що забезпечує точність і достовірність результатів визначення якості матеріалів і виробів. Впровадження ЗНК якості безпосередньо пов'язано з їх метрологічним забезпеченням, яке слід передбачати на стадії видачі технічного завдання на розроблення.

Питання про придатність апаратури для виконання поставленого завдання і її стан можна вирішити на основі нормування всіх основних елементів дефектоскопів. Серед нормованих параметрів розглядають такі: призначення, область застосування, використовуваний метод, об'єкти контролю та види виявлених дефектів, механічні й кліматичні умови експлуатації, мінімальна чутливість, роздільна здатність, мертва зона, робоча частота, ширина амплітудного спектра, інструментальна похибка визначення місця знаходження дефекту, струм напруги, джерело живлення, його споживана потужність, час установаження робочого режиму, час безперервної роботи, габаритні розміри, гарантійний термін.

2.1.1 Магнітний метод контролю

Фізичні основи і область використання магнітних методів НК

Магнітний контроль займає провідне місце щодо використання у виробничих умовах. Його оснований на аналізі взаємодії магнітного поля з контрольованим об'єктом. Фізичні основи магнітного контролю полягають у використанні магнітних властивостей матеріалів, зокрема, розмагнічувального чинника, магнітного опору і заломлення магнітних силових ліній.

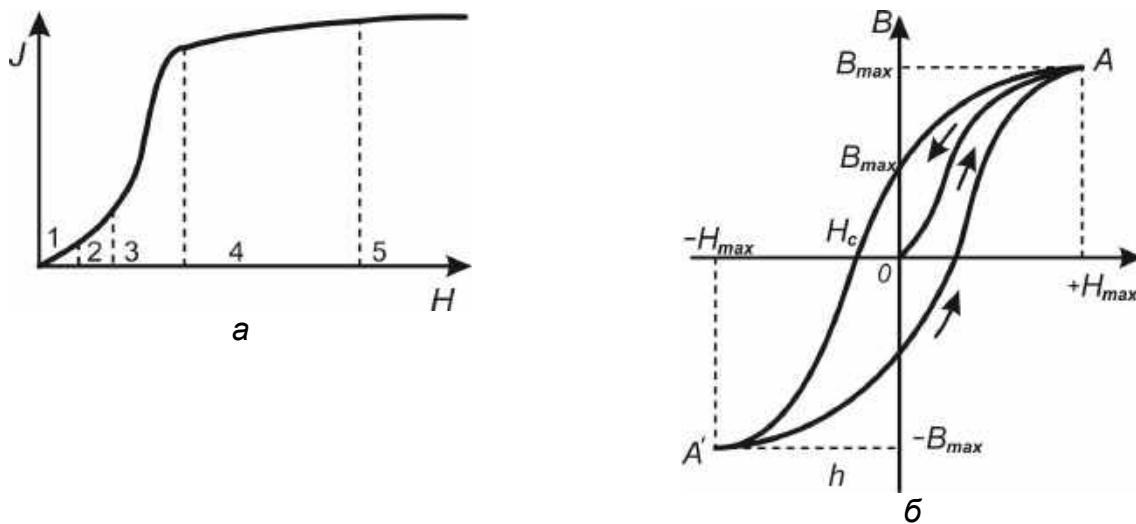


Рисунок 2.2 – Залежність намагніченості (а) і магнітної індукції (б) від напруженості поля електромагнітних матеріалів

Вектори магнітної індукції B і намагніченості J є нелінійними функціями вектора напруженості. Криві $B(H)$ і $J(H)$ характеризують основні властивості ферромагнітних матеріалів (рисунок 2.2). Основна крива намагніченості (див. рисунок 2.2, а) не має точного аналітичного виразу, зазвичай її визначають експериментально. Якщо розглянути криву намагніченості ферромагнітних матеріалів (наприклад, якої-небудь сталі), то можна виділити кілька областей, що відрізняються природою процесів намагніченості на окремих ділянках кривої. На першій ділянці (області початкової намагніченості) $\mu = const$, на другій (області Релея) – зі збільшенням напруженості поля магнітна проникність зростає лінійно, на третій (області найбільшої проникності) – $\mu = \mu_{max}$, четвертій (області наближення до насичення) – магнітна проникність зменшується, на п'ятій (області парапроцеса) – настає магнітне насичення $J = const$.

Процес намагнічування є незворотним, тому, якщо після того, як вже досягнуто насичення (початок п'ятої ділянки) розпочати зниження намагніченості поля, цей процес (індукції) буде відбуватися по кривій, яка є відмінною від основної кривої намагніченості. Намагніченість буде як би відставати при відповідних значеннях напруженості поля від значень J на кривій початкового намагнічення. Таке явище називається магнітним гістерезисом. При зниженні величини магнітного поля до нуля зразок залишається в більшій або меншій мірі намагніченим залежно від матеріалу (див. рисунок 2.2, б). Якщо змінити напрямок намагніченості поля на протилежний і збільшувати його за абсолютною величиною, то намагніченість зразка буде зменшуватися (криві BO , HO) і при досягненні деякого значення намагніченість поля буде дорівнювати нулю.

Подальше збільшення поля викликає перемагніченість зразка в протилежному напрямку – абсолютна величина індукції знову зростає. Змінюючи поле в протилежному напрямку (від $-H_{max}$ до $+H_{max}$), можна знову отримувати положення, відповідне точці A , тобто спостерігати змінення магнітного стану випробуваного зразка по замкнутій петлі гістерезису.

Контроль сталевих деталей методом магнітного порошку

1. Метод контролю магнітним порошком застосовують для виявлення дефектів у вигляді порушень суцільності на феромагнітних деталях.

Суть методу полягає в тому, що при намагнічуванні деталей з феромагнітного матеріалу в місцях дефектів (тріщин, флокенів, волосовин та ін.) відбувається розсіювання і вихід на поверхню деталі магнітних силових ліній. При цьому на краях дефектів утворюється полюсність. При посипанні деталі магнітним порошком (сухий метод) або при поливанні магнітною суспензією (мокрый метод) до цих полюсів притягуються частинки магнітного порошку. Порошок, що осів, указує місцезнаходження і вид дефекту. Найбільш ясно дефект виявляється в тих випадках, коли напрямок магнітних силових ліній є перпендикулярним до напрямку дефекту.

Застосовуючи різні способи намагнічування, можна отримати найвигідніший (для певних форми деталі і орієнтування дефектів) напрямок магнітних силових ліній.

2. Метод магнітного порошку дозволяє виявляти дефекти в деталях і напівфабрикатах із феромагнітних сталей без їх руйнування і дає можливість проводити стовідсотковий контроль продукції.

3. Магнітний контроль застосовують для виявлення дефектів, що виходять на поверхню деталей і лежать на невеликій глибині під поверхнею (до 2,0 мм залежно від характеру дефекту і режиму контролю). При магнітному контролі може бути виявлено:

- а) розшарування, спрямовані до поверхні деталі під кутом не менше 20 °;
- б) волосовини, тобто газові бульбашки або шлакові вкраплення, витягнуті вздовж волокна металу в процесі прокатки, кування або протягання металу;
- в) флокени;
- г) кувальні й штампувальні тріщини;
- д) заколи і закови, тобто заповнені оксидами поверхневі складки металу;
- е) гартівні тріщини;
- ж) шліфувальні тріщини;
- з) зварювальні тріщини;
- к) тріщини втомленості.

4. Магнітному контролю піддаються деталі після остаточного механічного і термічного оброблення. Для деяких деталей проводять, крім того, міжопераційний контроль на грубі дефекти (типу гартівних, кувальних і зварювальних тріщин, флокенів, розшарувань та ін.).

5. Зварювальні шви на феромагнітних деталях, виконані аустенітним електродом, не підлягають контролю методом магнітного порошку.

Контроль аустенітних швів на відкритих тріщинах може бути проведено люмінесцентним методом із заміною операцій промивання і просушування деталей піскоструминним обробленням.

Деталі й вузли необхідно подавати на магнітний контроль чистими, без

окалини, іржі, стружки, пилу, знежиреними або після піскоструминного оброблення. Пісок після цього слід вилучати. Методом магнітного порошку допускається контролювати деталі після оксидування, фосфатування, забарвлення або нанесення металевого покриття в результаті цинкування, кадмування, хромування за умови, якщо товщина покриття не перевищує 30...50 мкм. При більшій товщині покриття проводять контроль тільки на виявлення тріщин, які виходять на поверхню деталі, та інших значних дефектів.

Магнітний порошок, який застосовують для магнітного контролю деталей зі світлою поверхнею методом суспензії, являє собою подрібнену окис заліза (Fe_3O_4) темно-коричневого або чорного кольору з величиною частинок не більше 50 мкм.

Для контролю деталей с темною поверхнею застосовують світлий порошок (магнітний). Тонкоподрібнені магнітні частинки, або магнітний порошок, можуть бути у вигляді рідини або сухими. Поверхня випробуваного виробу має бути чистою, сухою, без окалин або іржі. При магнітних випробуваннях деталей або вузол намагнічують за допомогою електромагніта, а потім покривають суспензією (сумішшю гасу і трансформаторного масла в співвідношенні 1:1 з дрібнодисперсним порошком) або змащують сумішшю гасу і трансформаторного масла й посипають сухим магнітним порошком. У місцях тріщин (надривів, волосин, шлакових включень, флокенів, розшарувань та ін.) на глибині до 2 мм від поверхні деталі з'являються характерні скупчення порошку, які добре видно при візуальному огляді або за допомогою лупи дво-, чотириразового збільшення. Тріщини втомленості виявляються, як правило, в місцях концентрації напружень: на галтелях, в місцях різких переходів, надрізах, глибоких рисках, слідах різця, в основах різьб, зубців, отворів мастильних матеріалів.

Тріщини в результаті зварювання, гартування та кування виявляються у вигляді ламаних ліній.

Для намагнічування використовують постійний і змінний електричні струми, причому інтенсивність магнітного поля залежить від величини струму. Напряга джерела струму має бути порівняно низькою в цілях безпеки роботи, а можливості пошкодження виробу – зведені до мінімуму. Постійний струм створює магнітне поле, що глибоко проникає в метал. Дію магнітного поля, що створюється змінним струмом, обмежено в силу скін-ефекту лише поверхневими шарами металу. Внаслідок цього змінний струм найбільше застосовують при виявленні поверхневих дефектів. Величину намагнічуваного струму встановлюють, користуючись нормами, стандартами або інструкцією із комплексу поставки дефектоскопічного обладнання. За відсутності подібних рекомендацій величину струму намагнічування треба визначати експериментально.

Джерелами постійного струму можуть бути батареї, генератори або двопівперіодні випрямлячі змінного струму; пульсуючий змінний струм можна отримати однопівперіодним випрямленням однофазного змінного струму. В низьковольтних джерелах струму великої сили можуть бути використані мотори-

генератори, що застосовують під час зварювальних робіт. Максимальна сила струму при цьому становить кілька сотен ампер, однак намотуванням на виріб гнучкого дроту необхідної довжини кількість ампер-витків може бути значно збільшено.

Для випробувань відносно невеликих виробів застосовують магнітний дефектоскоп 77ПМД-3М, який змонтовано в металевій валізі. В комплект дефектоскопа входять:

- ручний електромагніт зі знімними наконечниками;
- соленоїд із внутрішнім діаметром 90 мм;
- гнучкий кабель довжиною 4 м;
- бачок для суспензій ємністю 1 л;
- банка ємністю 1 л для зберігання магнітного порошку;
- лупа п'ятикратного збільшення для огляду контрольованих ділянок деталей і вузлів.

Теоретичні дослідження дають можливість охарактеризувати лише якісну картинку змінення електропровідності і магнітної проникності під дією тих або інших чинників. Експериментальні дані, отримані при використанні вихрострумовевого контролю, характеризують кількісні зв'язки між структурою і властивостями матеріалу з урахуванням інших чинників, що впливають на них. У таблиці 2.1 наведено дані про чутливість фізичних методів дефектоскопії.

Таблиця 2.1 – Дані про чутливість фізичних методів дефектоскопії

Метод контролю	Ширина тріщин біля виходу на поверхню деталі, що визначається певним методом, мм	Мінімальна довжина тріщини вглиб металу, що визначається певним методом, мм
Просвічування рентгенівськими променями	0,1	1...5 % просвічування товщини
Просвічування променями	0,1	1,5...5...4 % просвічування товщини
Магнітно-порошковий	0,001...0,01	0,01...0,03
Люмінесцентний	0,01...0,03	0,03...0,04
Магнітно-люмінесцентний	0,0001...0,001	0,005...0,01
Кольорової дефектоскопії	0,001...0,03	0,01...0,04
Ультразвуковий	0,001...0,03	0,01
Вихрових струмів	0,001	0,1

Електроіндуктивна (струмовихрова) дефектоскопія

Суть цього методу полягає в порушенні вихрових струмів і визначенні на спеціальних датчиках змінення повного опору в результаті взаємодії змінного магнітного поля з полем, збудженим вихровими струмами.

Цим методом можна виявляти поверхневі тріщини глибиною в кілька мікрометрів, протяжністю в десяті частки міліметра.

Трибоелектрична дефектоскопія

Під час тертя різнорідних матеріалів виникає трибоелектрорушійна сила. Вимірюючи контактну різницю потенціалів (трибо-ЕРС) між еталоном і контрольованою заготовкою, можна розділяти деякі марки сплавів.

Термоелектрична дефектоскопія

При нагріванні місць контакту двох різнорідних сплавів у замкнутому ланцюзі виникає термоелектрорушійна сила (термо-ЕРС). При її вимірюванні на еталоні й контрольованому металі при заданій різниці температур гарячого і холодного контактів (на іншому кінці ланцюга) можна розрізнити заготовки або готові деталі за марками матеріалу. У разі переплутування матеріалів у процесі виробництва можна розсортувати їх за марками, виявити підміну матеріалу на виробі.

Електростатична дефектоскопія

Для виявлення поверхневих тріщин на металах з неелектропровідним покриттям (емаллю, лакофарбами і т. п.) і на виробках з неелектропровідних матеріалів застосовують порошковий метод, оснований на використанні електростатичного поля.

На поверхню виробу за допомогою пульверизатора-розпилювача з ебонітовим наконечником наносять тонкоподрібнений порошок крейди, частинки якого отримують при цьому позитивний заряд (трибоелектричний ефект). У результаті неоднорідності електричного поля порошок накопичується по краях тріщин.

Цей метод має суттєве значення для оцінювання якості готових виробів після контрольних і здавальних випробувань, у процесі експлуатації.

2.1.2 Оптичний контроль

Оптичний контроль оснований на взаємодії світлового випромінювання з поверхнею контрольованого об'єкта. При попаданні світла з потоком випромінювання Φ_{λ} на матеріал відбувається розкладання його на складові частини. Залежно від властивостей матеріалу це розкладання може бути різним (рисунок 2.3). Одна частина світлового потоку відбивається від граничної поверхні ($\rho_1\Phi_{\lambda}$), друга ($\Phi_{\lambda 2} - \Phi_{\lambda 3}$) – поглинається зразком, а третя – $\Phi_{\lambda 4} = (1 - \rho_2(\lambda))\Phi_{\lambda 3}$ – проходить через нього. При оптичному контролі розглядають такі важливі спектральні характеристики, як коефіцієнт спектрального випромінювання і поглинання, спектральний коефіцієнт пропускання, спектральний коефіцієнт відбиття і показник заломлення. Визначення цих характеристик лежить в основі методів, які класифікують за взаємодією світлового потоку з контрольованим об'єктом відбитого, розсіяного й індукованого випромінювання.

Спектральний коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda)$ є відношенням потоку випромінювання ($\Phi_{\lambda 2} - \Phi_{\lambda 3}$), поглиненого всередині оптично прозорого середовища, до падаючого потоку випромінювання $\Phi_{\lambda 1}$.

Спектральний коефіцієнт пропускання є відношенням потоку випромінювання $\Phi_{\lambda 3}$, який пройшов середовище, до потоку $\Phi_{\lambda 1}$, що впав на його поверхню.

Спектральний коефіцієнт відбиття $\rho(\lambda)$ визначають для складових світлового потоку з паралельними і перпендикулярними коливаннями відносно площини падіння:

$$\rho_{\parallel}(\lambda) = \text{tg}^2(\theta_1 - \theta_2) / \text{tg}^2(\theta_1 + \theta_2); \quad (2.1)$$

$$\rho_{\perp}(\lambda) = \sin^2(\theta_1 - \theta_2) / \sin^2(\theta_1 + \theta_2), \quad (2.2)$$

де θ_1 і θ_2 – відповідно кути відображення й заломлення при нормальному падінні світлового потоку, перехід з одного матеріалу з показником заломлення n_1 в інший з показником заломлення n_2 .

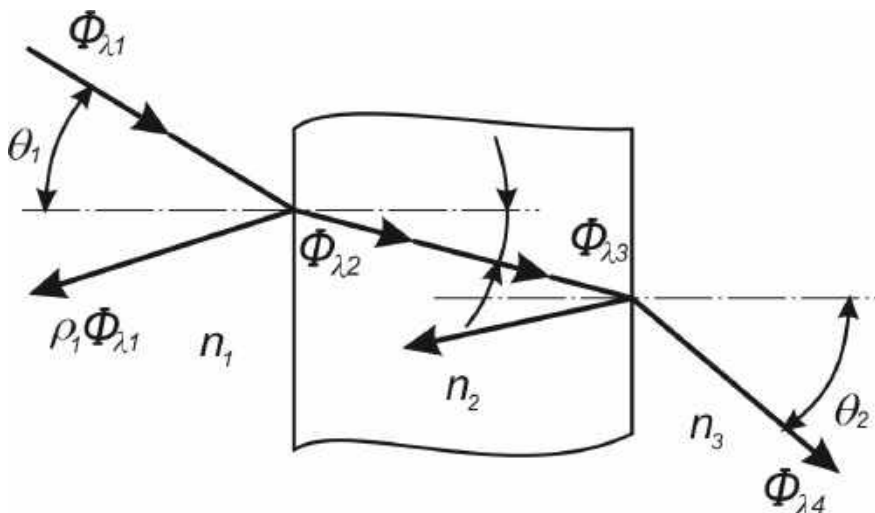


Рисунок 2.3 – Схема відображення й заломлення променя під час проходження через плоскопаралельну пластинку

$$\begin{aligned} \Phi_{\lambda 2} &= [1 - \rho_1(\lambda)] \Phi_{\lambda 1}; \\ \Phi_{\lambda 3} &= [1 - \rho_1(\lambda)] \tau(\lambda) \Phi_{\lambda 1}; \\ \Phi_{\lambda 4} &= [1 - \rho_2(\lambda)] \Phi_{\lambda 3}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Спектральний коефіцієнт відбиття

$$\rho(\lambda) = \left[\frac{(n_2 - n_1)}{(n_2 + n_1)} \right]^2. \quad (2.4)$$

Спектральний коефіцієнт відбиття – це відношення відбитого спектрального світлового потоку $\Phi_{\lambda 1}$ до падаючого $\Phi_{\lambda 1}$. Цей коефіцієнт пов'язано зі спектральним коефіцієнтом пропускання $\tau(\lambda)$ і спектральним коефіцієнтом поглинання $\alpha(\lambda)$, як і у випадку інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, співвідношенням

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1. \quad (2.5)$$

Методи заломлення променів у призмі з відповідного матеріалу належать до найбільш точних методів, проте їх застосування ускладнено. Зручними й продуктивними є методи визначення граничного кута заломлення (рефрактометрія). Найвищу точність забезпечують інтерференційні методи.

2.1.3 Теплові методи контролю суцільності

Методи теплового НК поділяють на пасивні і активні. **Пасивні методи** використовують для контролю виробів, що нагріваються в процесі функціонування, активні – для контролю матеріалів і виробів, що знаходяться в тепловій рівновазі з навколишнім середовищем. **Активні методи** застосовують за наявності джерела нагрівання (охолодження) досліджуваного виробу. При контролі прозорих матеріалів за допомогою термометрів, термоіндикаторів реєструють інтенсивність минулого випромінювання в широкій області спектра або у вузькому спектральному діапазоні. Методи, які реалізують приладами із зображенням теплових полів, основані на застосуванні як термоперетворювача екрана з рідких кристалів, наприклад, Lita товщиною $\approx 0,1$ мм.

Температура і її розподіл є непрямыми параметрами, що дозволяють оцінити режим роботи, наявність прихованих дефектів і змінення електричних параметрів елементів радіоелектронних пристроїв. Після встановлюваного монтажу елементів і мікросхем плати контролюють за допомогою ІЧ-випромінювання або радіочастотного зонда. Методи випробувань ІЧ-випромінюванням основані на закономірності зв'язку інтенсивності теплового випромінювання та його спектральної характеристики з робочим станом кожного елемента друкованої плати.

Тепловий контроль товщини

Контроль товщини покриттів тепловими методами є можливим у тих випадках, коли істотно відрізняються теплопровідність, теплоємність або інші технологічні властивості матеріалів покриття і основи. Точність вимірювань цими методами є відносно низькою, тому їх використовують рідко, головним чином для виконання спеціальних завдань. Для контролю тепловими методами може бути використано наявну серійну апаратуру, призначену для вимірювання температур або аналізу теплових полів, у тому числі радіаційні пірометри і тепловізори.

Термічні методи

Методи проведення термічних випробувань зводять до того, що до випробуваного виробу підводять тепло, а потім вимірюють або спостерігають візуально результуючий розподіл температур. Дефекти порушують належне температурне поле на поверхні виробу або всередині

його. Тепло може бути підведено шляхом безпосереднього контакту з джерелом тепла, індукційним способом або за допомогою джерел ІЧ-випромінювання. Результируючий розподіл температур може бути виявлено за допомогою різних термочутливих речовин і реєструючих приладів. Наприклад, можна використовувати стеарин; відкладення інею при заморожуванні; термолаки; термофарби; температурні фосфори; плівки, чутливі до інфрачервоного випромінювання; термопари; термометри опору; фотопровідні матеріали, а також тонкі нафтові плівки, що змінюють свій колір залежно від температури; характерні оксиди, що утворюються при нагріванні та ін.

Термічні випробування за допомогою плавких покриттів

До цих методів належать термічні випробування за допомогою термоолівців і термолаків. Термоолівець – це термочутлива кольорова крейда, яка має певні калібровані точки плавлення. В наш час промисловістю випускається близько 60 різних видів термоолівців, що охоплюють діапазон від 45 до 1110 °С. Кожен вид термоолівців відповідає певній температурі в межах допуску $\pm 1\%$ від номінальної температури.

2.2 Контрольно-випробувальні роботи в цеху остаточного складання

Комплексний контроль і наземні випробування систем у процесі серійного виробництва зосереджують у спеціально організованій контрольно-випробувальній станції.

У процесі вхідного контролю готових виробів і вузлів перевіряють споживані струми, напруги спрацьовування, кути відношення, чутливість, частоти, синхронність спрацьовування, час спрацьовування, тиск, температуру.

Під час контролю ділянок систем в агрегатах літака перевіряють: правильність монтажу, опір ізоляції, герметичність, чистоту внутрішніх поверхонь, функціонування систем. На зібраному літаку в цеху остаточного складання проводять індивідуальний контроль систем за допомогою стендів автономного контролю, а також перевірку підкомплексів систем за допомогою автоматизованих установок з програмним керуванням. Такі установки дозволяють в наземних умовах імітувати умови роботи систем в повітрі. Вони контролюють: функціонування систем під струмом і тиском; час роботи агрегатів; кути відхилення; плавність ходу; послідовність спрацьовування агрегатів; споживаний струм; створювані тиски; вироблювану напругу.

Контроль найважливіших параметрів, що характеризують якість систем при їхній спільній роботі в умовах, що наближаються до експлуатаційних, здійснюється спеціальними системами автоматизованого контролю (САК).

Всі відсіки або агрегати літака (фюзеляж, крило, гондола двигуна та

ін.) мають надходити на монтаж повністю закінченими, тобто мають бути виконані свердлильні, складально-клепальні, зварні та інші роботи, встановлені кронштейни й кріпильні вузли. Відсіки або агрегати мають бути очищеними від виробничих відходів, а їхня внутрішня поверхня захищеною антикорозійним покриттям (тобто бути анодованою, заґрунтованою, пофарбованою та ін.).

Елементи бортового обладнання, що надходять на складання, всі деталі і комплектуючі вироби мають пройти 100% -ний вхідний контроль.

Візуально перевіряють комплектність тягових і тросових пристроїв системи керування, а також чи немає пошкоджень покриття, іржі, забоїн, подряпин. Троси до заплітання кінців на коуш або закладення в наконечники випробовують на розтягнення. Перевіряють геометричну форму деталей із труб і наявність на зовнішній і внутрішній поверхнях труби механічних пошкоджень і металургійних дефектів – тріщин, волосовин, зажимів. Трубопроводи випробовують на міцність і герметичність.

В електропроводах при монтажі електро- і радіосистем перевіряють міцність ізоляції, переріз проводу і його провідність. Електропровода перевіряють на правильність складання, міцність з'єднань і наявність замикання між ними. Вимірюють опір ізоляції та перехідних опорів в з'єднаннях. Перевіряють правильність функціонування електрообладнання, час спрацьовування, вимірюють струм.

Крім 100%-ного вхідного контролю, проводять вибірковий контроль декількох виробів з партії за більш розширеною програмою.

Вузли, що надходять на монтаж, провода, трубопроводи, деталі кріплення та інші деталі мають бути взаємозамінними. Трубопроводи і арматура, що надходять на складання, мають бути попередньо ретельно очищеними всередині, візуально перевіреними, закритими заглушками і опломбованими.

Не допускаються до монтажу провода і кабелі з пошкодженим покриттям або екрановані облупленням.

Після контролю геометричних форм всі труби випробовують на міцність і герметичність.

Перед випробуванням внутрішню порожнину труби продувають струменем чистого сухого стисненого повітря під тиском $1,5 \text{ кг/см}^2$ протягом 15–20 с для видалення сторонніх часток. Потім труби промивають протягом 5–10 с спиртом-ректифікатом або бензином, що подається під тиском. На контрольному фільтрі з нікелесаржевою сіткою довжиною 15 мкм не має бути механічних домішок. Відразу ж після промивання і просушування на кінцях трубопроводів розміщують технологічні заглушки або поліетиленові плівки і ставлять особисте клеймо або пломбу виконавця.

Далі проводять контроль якості монтажів. При 100%-му контролі перевіряють:

– наявність зазорів між трубопроводами і елементами конструкції, між механізмами і елементами планера, між трубопроводами, електропроводами і гнучкими шлангами;

– відповідність виконаного монтажу принципівим і монтажним схемам;

– наявність механічних пошкоджень (зминання стінок трубопроводів і люфту в елементах кріплення);

– наявність бирок і маркувань.

Зібрані пневмосистеми, протипожежну, протиобліднювальну, масляну і паливну системи продувають повітрям, а кисневу – чистим азотом в агрегатно-складальних цехах.

Гідросистеми в агрегатних цехах промивають рідиною, для чого робочі фільтри замінюють технологічними, а зворотні клапани і дроселі – технологічними перехідниками. Промивають систему по ділянках.

Остаточно чистоту гідросистеми контролюють в лабораторії, підраховуючи за допомогою автоматичного лічильника або під мікроскопом осілі тверді частинки в пробі, взятої з гідросистеми. Гідросистему вважають чистою, якщо в 100 см³ проби м'якої рідини забруднень міститься не більше, ніж наказано стандартом.

Усі зібрані трубопровідні системи перевіряють на герметичність в агрегатних цехах на незістикованих відсіках і агрегатах або в цеху загального складання на повністю складеному літаку. В останньому випадку герметичність контролюють перед відпрацюванням систем на функціонування.

При **гідростатичному методі контролю** систему заповнюють робочою рідиною під тиском і витримують певний час. Герметичність гідросистеми перевіряють візуально за наявності або відсутності крапель на поверхні елементів з'єднань або на фільтрувальному папері. При виявленні течі тиск в системі скидають до нуля і підтягують накидні гайки з'єднань або замінюють трубопровід. Після усунення течі повторюють перевірку герметичності.

При **пневматичному методі контролю герметичності** систему заповнюють повітрям або азотом під надлишковим тиском, наносять на місця, що перевіряють, мильну емульсію і протягом певного часу спостерігають за появою повітряних бульбашок у ній. Перед контролем герметичності всі трубопровідні системи мають бути продуті повітрям (за винятком кисневої системи). Для запобігання трубопровідних систем від заповнення вологим повітрям необхідно перевірити працездатність силікогелієвого патрона, змонтованого на стенді.

3 КОМПЛЕКСНІ ВИПРОБУВАННЯ І АЕРОДРОМНЕ ВІДПРАЦЮВАННЯ СИСТЕМ ЛІТАКА НА АВІАЦІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

3.1 Відпрацювання і контроль систем на контрольно-випробувальній станції

Відпрацювання і перевірка на контрольно-випробувальній станції (КВС) є завершальним етапом виробництва літального апарата, на якому в умовах, максимально наближених до експлуатаційних, здійснюється комплексна перевірка і регулювання систем з широким використанням засобів автоматичного контролю із записом параметрів на плівку. Дані таких перевірок і випробувань є об'єктивним документом, що підтверджує якість відпрацювання систем літального апарата. Основними завданнями КВС є:

- промивання й випробування паливної системи;
- випробування гідравлічних систем;
- відпрацювання й контроль злітно-посадкових пристроїв, силових установок, енергосистем і електротехнічного обладнання, радіолокаційних станцій та ін.;
- проведення передпольотного і післяпольотного оглядів з аналізом дефектів обладнання, виявлених в процесі наземного відпрацювання і льотних випробувань, і розроблення заходів щодо їх усунення;
- подання і здавання літаків представникові замовника.

Мета контрольних випробувань – перевірка відповідності виготовлюваних в серійному виробництві літаків встановленим технічним умовам або еталонному зразку, який пройшов відповідні випробування (заводські, міністерські, державні). Повністю зібране обладнання перевіряють на працездатність і функціональну взаємодію всього комплексу систем літака на КВС, а безпосередню підготовку літаків до випробувань в повітрі проводять в аеродромному цеху льотно-випробувальної станції.

Методи і засоби, що застосовують при контролі бортового обладнання на КВС, є аналогічними методам і засобам контролю бортового устаткування в агрегатних цехах.

Перевірка і випробування всіх літаків (вертольотів) мають носити неруйнівний характер і не впливати на ресурс елементів обладнання і гарантійний ресурс літака в цілому. Для деяких видів апаратури бортового обладнання невелике попереднє напрацювання є необхідним і корисним. Зокрема, для електронної високочастотної апаратури встановлюють обов'язкове попереднє напрацювання, що зветься тренуванням, яке можна застосовувати до механічних і гідравлічних систем. У процесі тренування відбувається припрацьовування окремих елементів механізмів і самопідстроювання контурів. Після тренування повторно перевіряють і випробовують відповідні елементи обладнання.

Роботи на КВС зазвичай проводять у два етапи: без прогону двигуна, коли для перевірки гідравлічних, пневматичних та електричних систем

використовують наземні джерела живлення, і з роботою двигунів, коли всі види енергії виробляються системами літака. В останньому випадку створюються найбільш сприятливі умови для комплексних випробувань, що дозволяє виявити вплив одних систем на інші.

Організація стендового відпрацювання окремих споріднених груп систем у поєднанні з комплексним відпрацюванням дозволяє перевірити взаємозв'язок і стикування систем у наземних умовах, істотно підвищити число виявлених дефектів і відмов і тим самим скоротити кількість дорогих льотних випробувань.

Специфічна особливість робіт, що проводять на КВС, полягає в тому, що контроль параметрів, остаточне регулювання і відпрацювання обладнання, комунікацій і систем виконують безпосередньо на літальному апараті без демонтажу блоків і агрегатів. Це накладає певні вимоги на застосовувані і новостворювані методи і засоби випробування й контролю. Під час контролю і випробування системи на КВС прагнуть до одночасного відтворення експлуатаційних умов у вигляді стимулюючих впливів, що виробляються і подаються на літальний апарат імітаторами.

Основна маса контрольного оснащення і стендів КВС завдяки своїй універсальності є аналогічною контрольному обладнанню, що застосовують в цеху остаточного складання. Однак окремі операції щодо відпрацювання і контролю систем на функціонування на КВС виконують контрольно-випробувальною апаратурою, яка відрізняється від застосовуваної в цеху остаточного складання. Наприклад, для перевірки працездатності електроланцюгів і автоматики перемикачів використовують пульт з автоматичною сигналізацією про несправності у перевірній електросистемі. За допомогою пульта можна перевірити електроланцюги обігрівання акумуляторів, керування сидінням льотчика, протипожежної системи, обігрівання гермошолома і кабіни, термопар і їхніх опорів та ін. При перевірці стенд з джерелом електроенергії підключають до бортової розетки аеродромного живлення, а технологічні (перехідні) джгути пульта – до роз'ємів ланцюгів, що перевіряють. При вмиканні відповідних перемикачів на пульта і в кабіні літака по контрольному амперметру і сигнальній лампочці на пульта перевіряють працездатність електроланцюга.

Для відпрацювання гідросистеми на функціонування застосовують універсальний стенд, за допомогою якого можна також перевірити герметичність паливної системи і кабіни льотчика. При випробуванні на герметичність в кабіну льотчика подається повітря через штуцер патрубку наземної вентиляції, з яким пов'язано манометр для виміру тиску в кабіні. Сигналізатор тиску зблоковано з електропневмоклапаном, що забезпечує дренаж при підвищенні тиску на вході в кабіну. Для автоматичного визначення часу спадання тиску в кабіні на стенді встановлено електросекундомір, який з'єднано з електропневмоклапаном наповнення кабіни і електроконтактом манометра. Перед відпрацюванням гідросистеми на функціонування літак необхідно встановити на

гідропідйомнику. Керування гідравлічними агрегатами при цьому здійснюється з кабіни льотчика.

Літакові агрегати, що працюють від пневмосистеми, перевіряють на функціонування на спеціальних стендах.

Контрольно-випробувальну станцію має бути обладнано девіаційним майданчиком, а також транспортними машинами, тягачами, спеціальними снігоприбиральними і поливальними машинами, паливо- і маслосправниками, електрокарами, візками для перевезення балонів, акумуляторів та інших вантажів.

Робочі місця для відпрацювання систем літака, крім специфічних контрольних засобів, оснащено типовим устаткуванням: гідропідйомниками, драбинами, козлами, гальмівними колодками, джерелами живлення електроенергією і повітрям, пересувними аеродромними компресорами, акумуляторними батареями та ін. Це обладнання може бути стаціонарним або рухомим. Залежно від класу літаків, що знаходяться у відпрацюванні, змінюється склад наземного обладнання, яким оснащується кожне робоче місце.

В особливу групу обладнання КВС входять випробувальні стенди, що моделюють умови роботи бортових систем літака. На таких стендах імітуються нормальні й аварійні режими роботи, а також реєструються перехідні процеси. Результати випробувань (міра достовірності й об'єктивність контролю) залежать від повноти відтворюваних робочих режимів системи, ступеня автоматизації відтворення зовнішніх умов роботи системи, змінення її параметрів, вимірювання і реєстрації одержаних даних.

Моделюючі випробувальні стенди дозволяють:

- перевіряти теоретичні розрахунки, прийняті при розробленні нової апаратури;
- визначати оптимальні схеми і параметри для проекрованої системи шляхом дослідження в реальних умовах роботи агрегатів;
- проводити контрольні випробування систем для визначення відхилень їхніх параметрів від заданих значень;
- проводити ресурсні випробування або випробування до першої відмови;
- відтворювати аварійні режими в зв'язку з рекамаціями від експлуатуючих організацій;
- моделювати конструктивні й виробничі дефекти з метою виявлення їхнього впливу на працездатність і надійність системи та ін.

Після відпрацювання, контролю і регулювання окремих систем літак транспортують до девіаційного майданчика, де перевіряють за пеленгатором і коректують показники магнітних, гіромагнітних приладів і радіокомпасів. Для списування девіації компасів літак устанавлюють на поворотному колі. Далі визначають політну вагу і положення центру ваги літака, зважуючи його в двох або більше варіантах завантаження (порожній літак з незнімним обладнанням і повністю завантажений).

Одним з основних шляхів підвищення якості випробувань і надійності літаків (вертольотів) є застосування автоматичних об'єктивних засобів автономного і комплексного контролю та випробування бортового обладнання.

Приєднані до систем, що перевіряють, стенди проходять комплекс перевірок заздалегідь заданою програмою. Всі параметри цих систем можна побачити на комп'ютері або осцилограмі. Самописні прилади в стендах вимірюють дані та забезпечують більшу об'єктивність і документальність перевірок. Застосовують різні принципи перевірок за допомогою автоматичних пристроїв. Найпростіший – перевірка за принципом «так - ні». Якщо стенд не вказує на дефекти, то він як би відповідає «так», тобто приймає контрольовану систему. Якщо стенд виявляє дефект, він автоматично припиняє перевірку.

У процесі попередніх випробувань є більш доцільним застосування автоматизованих стендів і установок, що не тільки показують справність або несправність системи, але й записують окремі параметри і відмови. Необхідну послідовність випробувань і координацію роботи стенда забезпечує запрограмований пристрій. Запущені з його допомогою генератори вхідних сигналів, пов'язані з імітатором, подають сигнали на вхід випробуваної системи. Отриманий сигнал перетворюється і порівнюється в компараторі з еталонними сигналами, які надходять від генератора. Результати порівняння подаються в аналізатор – спеціалізований обчислювальний пристрій, що автоматично оцінює контрольовану величину. Потім вихідний сигнал надходить до індикатора. Якщо сигнал не виходить за допустимі межі, то програмуєчий пристрій видає команду на продовження перевірки. Якщо ж вихідний сигнал не знаходиться в допустимих межах, то приводяться в дію програмуєчий пристрій і аналізатор для виявлення місця несправності. Такий стенд скорочує час перевірок літака від кількох днів до кількох годин.

Всю контрольовано-випробувальну апаратуру подібного стенда змонтовано на базі автомобільного шасі.

3.2 Комплексні випробування на льотно-випробувальній станції

Льотні випробування – вирішальний етап відпрацювання ЛА, після проведення якого остаточно визначають його основні характеристики.

При підготовці льотних випробувань однією з основних задач є визначення необхідного складу і кількості вимірюваних параметрів, а також раціональне розміщення датчиків і апаратури системи вимірювань. Реалізацію цього завдання проводять на всіх етапах розроблень вибраної компонуєвальної схеми, що оснований на аналізі передбачуваного функціонування систем і агрегатів ЛА на всіх етапах роботи в штатних і аварійних ситуаціях. Особливу увагу звертають на аварійні ситуації, оскільки в процесі льотного відпрацювання ймовірність появи таких ситуацій є досить великою, а виявлення і усунення їхніх причин – однією з головних задач льотних випробувань. Моделюючи функціонування ЛА,

його систем і агрегатів на різних ділянках польоту при штатних ситуаціях, а також можливі аварійні ситуації, ймовірні процеси їх розвитку й роботу систем і агрегатів ЛА в цих умовах, можна визначати місця установки датчиків апаратури, діапазон вимірювань і перелік вимірюваних параметрів. Це дозволяє досить вірогідно робити висновки щодо параметрів ЛА і процесів, що протікають на його борту в усіх цих ситуаціях. При відповідному обробленні результатів вимірювань є можливим прямо або побічно встановлювати:

- правильність розрахункового визначення навантаження;
- правильність вибору динамічної схеми;
- реакцію конструкції на зовнішні впливи;
- частоту і форму власних пружних коливань і логарифмічний декремент їх загасання;
- справжнє положення центру тиску;
- правильність опису динамічної схеми системи "Літальний апарат – двигун";
- аеродинамічний опір;
- достатню кількість органів керування.

Льотні випробування, особливо при їх несприятливому результаті, виявляють необхідність допрацювати ті або інші елементи конструкції або системи ЛА. Після цього слід виконати додаткові стендові випробування, випробування на міцність й інші, які підтверджують правильність прийнятих рішень. Однак завданням льотних випробувань є не тільки підтвердження правильності прийнятих рішень і виявлення слабких місць, а й визначення запасу міцності, закладеного на попередніх етапах розроблення, тому в ході льотних випробувань, накопичення інформації про фактичні характеристики ЛА і уточнення розрахункових методів і схем з'являється можливість зменшення цього запасу і поліпшення льотних характеристик ЛА.

Льотні випробування літаків проводять в аеродромному цеху, основною ланкою якого є льотно-випробувальна станція (ЛВС). Залежно від виду випробувань і їхньої орієнтації трудомісткість робіт, виконуваних в цьому цеху, може становити від 5 до 10 % від загальної трудомісткості виготовлення літака. Для скорочення термінів виготовлення літаків прагнуть до зменшення обсягу робіт в аеродромному цеху за рахунок виконання ряду робіт в складальних цехах. В аеродромному цеху приймають літак із цеху загального складання, відпрацьовують і далі здійснюють льотні випробування, після чого усувають недоліки і проводять остаточне відпрацювання літака. В аеродромному цеху також літак здають замовникові.

ЛВС зазвичай містить одну або декілька будівель і льотне поле, що має одну або кілька злітно-посадкових смуг. У будівлях розташовано ділянки загального відпрацювання літаків і підготовки їх до польоту, командно-диспетчерський пункт, обладнаний радіоапаратурою для керування всією льотною роботою, лабораторії, гараж, майстерні, склади

та інші господарські приміщення. Ділянки загального відпрацювання літаків можуть розташовуватися і на відкритих майданчиках, обладнаних комплектом драбин, постійними точками живлення електроенергією і стисненим повітрям.

До складу ЛВС, крім обладнання робочих місць для робіт на літаку, входять також склади пальних і мастильних матеріалів, зарядні станції для акумуляторів, пересувні стенди та генератори для перевірки електросистем, радіообладнання, гідро- й пневмосистем, підігрівальні пристрої, силові установки і багато іншого. Гараж вміщує машини загального призначення, електрокари, буксирні пристосування, снігоприбиральні, санітарні та пожежні машини. Майстерні оснащено верстатним парком, зварювальними постами, ділянками для слюсарних робіт.

Літаки заправляють паливом і мастилом як від паливо- і мастилозаправників, так і від спеціальних стендів. Існують пристрої для зливу мастила і палива, а також системи заправлення киснем і азотом. Запуск двигунів і перевірку роботи електро- і радіоустаткування проводять від джерел електричного струму – електрокарів і спеціальних установок. Для відпрацювання радіообладнання і гідросистем застосовують спеціальні стенди. Для підняття літака в лінію польоту і відпрацювання підйому та випуску шасі застосовують спеціальні гідравлічні підйомники.

Після переведення літака із цеху загального складання на ЛВС проводять перевірку електрообладнання, гідро- і пневмосистем, паливної і маслосистем, системи заправлення баків і тарировки, перевірку шасі (прибирання, випускання, сигналізації), систем керування літаком і силовою установкою, роботи двигунів в наземних умовах, а також роботи систем спецобладнання, аеронавігації, радіолокації, зовнішнього і внутрішнього зв'язку.

Контроль кожної системи починають з огляду і перевірки монтажу в цеху загального складання, потім виконують стендову перевірку систем, коли підключають живлення, встановлюють робочі режими роботи систем. На ЛВС проводять перевірку систем при працюючому двигуні, коли живлення системи поступає від агрегатів, що приводяться в рух двигунами. Такий контроль є властивим тільки аеродромному цеху.

Перевірку систем проводять за інструкціями, в яких указано послідовність робіт, способи регулювання та вихідні параметри систем.

При перевірці органів керування контролюють кути відхилення рулів, елеронів, тримерів; сили, що впливають на ручку і педалі; тиск в гідросистемі бустерного керування; відсутність зазорів у тязі, качалках; сили натягу тросів. Особливу увагу звертають на зазори між рухомими частинами тяг. Натяг тросів перевіряють тензометром, для перевірки кутів відхилення органів керування застосовують спеціальний кутомір.

При перевірці випуску і прибирання шасі заміряють час, контролюють закриття замків, спрацьовування сигналізації під час прибирання і випускання шасі й аварійної сигналізації, "вписування" стулок і обтічників шасі в прибраному положенні.

Контроль паливної системи починається з випробувань на герметичність і перевірки показань паливоміра. Тарировку паливоміра проводять шляхом заливання в баки заміряної кількості палива і коректування показань на цьому паливомірі. При перевірці паливної системи на літаку забороняються роботи, пов'язані з появою електроструму в дроті й іскор від ударів. Електроживлення вмикають тільки після заправки і перевірки на герметичність паливної системи. Для кращого виявлення місць витoku паливо іноді підфарбовують. Усі роботи, пов'язані з перекачуванням палива при випробуваннях, проводять за допомогою спеціальних стендів. Їх застосування значно скорочує цикл робіт з будь-яких видів заливання-зливання палива, коли потрібні точні виміри обсягу, полегшує працю робітників, забезпечує чистоту місць заправлення.

При перевірці роботи двигунів контролюють пускову систему, температурний режим, тиск палива на різних режимах, роботу агрегатів, установлених на двигуні. Особливу увагу приділяють чистоті, герметичності масляної системи двигуна, перевіряють її функціонування.

Льотні випробування проводять за спеціальною програмою, в якій указано параметри систем, що перевіряють, методики перевірок, режими роботи та ін. Визначають, що і як має бути перевірено кожним членом екіпажу при запуску двигуна, рулінні, зльоті, наборі висоти, польоті й посадці. Перевіряють роботу двигунів на землі і в польоті на всіх режимах, роботу органів керування, швидкопідйомність і швидкість літака на різних висотах, прибирання і випуск шасі, роботу висотної і протиобліднювальної системи, а також міцність літака шляхом створення перевантажень. Ряд показників реєструється контрольно-записувальною апаратурою.

Усі дефекти, що виявлені в процесі польоту, вписують у польотний лист, у разі необхідності після усунення дефектів проводять повторний політ. Після обльоту екіпажем ЛВС літак знову проходить наземне відпрацювання. Літак оглядають так само, як і перед польотом, перевіряють за спеціальною інструкцією стан різних систем після польоту, усувають усі недоліки, що були виявлені в польоті і після огляду.

Особливу увагу приділяють виявленню можливих порушень цілісності деталей і їх з'єднань, які сприймають навантаження в польоті. Для перевірки деякі найбільш відповідальні кріплення і вузли вибірково розбирають. У масляній, гідравлічній і паливній системах перевіряють чи немає у фільтрах металевої стружки, що свідчить про заїдання і швидке спрацювання агрегатів від тертя. При виявленні стружки розпізнають агрегат з дефектами, встановлюють причину дефекту і замінюють агрегат.

Після усунення всіх дефектів літак готують до приймально-здавального польоту екіпажем замовника. Перед польотом представники замовника перевіряють документацію, проводять повний передпольотний огляд літака з випробуванням на землі роботи всіх систем і двигунів. Наземне обслуговування польоту екіпажем замовника проводиться службами ЛВС. Технічну готовність літака до експлуатації оформляють двобічним підписанням приймально-здавальної документації.

4 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИПРОБУВАНЬ СЕРІЙНИХ ВИРОБІВ

4.1 Пред'явницькі випробування

Приймально-здавальні випробування (ПЗВ) – це випробування під час приймального контролю. Їх проводять з метою перевірки відповідності виробу (або партії виробів) технічним умовам (ТУ), встановленим для цієї категорії випробувань, а також контрольному зразку, якщо його передбачено ТУ, або зразку-еталону за його наявності.

Цей вид випробувань проводить представник замовника в присутності представника відділу технічного контролю (ВТК). На такі випробування надходять вироби, що витримали пред'явницькі випробування, які проводить ВТК з метою контролю виробів на відповідність вимогам ТУ і визначення готовності виробів для подання представникові замовника. Як правило, обсяг пред'явницьких випробувань є більшим, а норма на параметри, що перевіряють, меншою, ніж при приймально-здавальних випробуваннях. Окремі види пред'явницьких і приймально-здавальних випробувань, зокрема пов'язані із застосуванням методів руйнівного контролю, поєднують. Результати пред'явницьких випробувань оформляють протоколом.

Приймально-здавальні випробування проводять, як правило, на підприємстві-виготовлювачу, але деякі види виробів можуть проходити випробування в інших організаціях промисловості і в організаціях замовника. Матеріально-технічне і метрологічне забезпечення здійснює підприємство-виготовлювач (у іншому випадку – організація, яка проводить випробування, і підприємство-виготовлювач за узгодженими рішеннями).

Види випробувань (електричні, механічні, кліматичні, на надійність й ін.) і контролю (візуальний, вимірювальний та ін.), послідовність їх проведення, контрольовані параметри (показники) та норми на них встановлено в технічних умовах.

До початку ПЗВ представник замовника переконується в наявності необхідної для проведення випробувань довідкової, нормативної, конструкторської й технологічної документації; перевіряє місце проведення випробувань щодо відповідності площі, обладнання, стану і забезпечуваних умов (температури, вологості, чистоти повітря, впливу електричного і електромагнітного полів та ін.) методикам проведення випробувань, а також вимогам безпеки і охорони навколишнього середовища. Він перевіряє відповідність засобів випробувань, вимірювань і контролю нормам технічних даних (НТД), що стосуються методів випробувань даного виду виробів і своєчасності метрологічної атестації (перевірки) цих засобів. За відсутності будь-яких документів, через неправильне їх оформлення, невідповідність приміщення вимогам НТД щодо методів випробувань, відсутності метрологічної атестації засобів випробувань, вимірювань і контролю представник замовника має право не починати проведення ПЗВ і вимагати усунення існуючих недоліків.

Служба ВТК підприємства-виготовлювача повідомляє представника замовника в тому, що продукцію перевірено і прийнято ВТК, що вона повністю відповідає ТУ і надходить на випробування. При цьому у ВТК підготовлюють повідомлення за підписом керівника підприємства-виготовлювача (головного інженера) і начальника ВТК (головного контролера якості), формуляри і паспорти на продукцію, протокол пред'явницьких випробувань.

Представник замовника перевіряє:

- правильність оформлення повідомлення;
- точність заповнення формуляра і паспорта на виріб і його складові частини, наявність штампа ВТК і дати приймання, а також гарантійних зобов'язань;

- наявність актів, протоколів та інших документів, що підтверджують технічну перевірку складових частин продукції;

- наявність протоколів з одержаними позитивними результатами всіх категорій випробувань: пред'явницьких; кваліфікаційних (продукції, що вперше випускається); періодичних (у випадку, коли випуск продукції поновлюється після перельоту, що перевищує періодичність випробувань);

- витрату ресурсу роботи виробу і його складових частин;

- наявність на виробі відповідних пломб і клейм;

- комплектність виробу;

- кількість виробів, поданих одночасно в одному повідомленні.

Проведення і експериментальне визначення випробувань містить процеси підготовки і реалізації випробувань.

Процес підготовки до випробувань містить виконання таких видів робіт:

- підготовку і настроювання об'єкта випробувань, випробувального устаткування і засобів вимірювань;

- контроль правильності монтажу допоміжного обладнання, пристроїв, пристосувань;

- перевірку умов випробувань;

- проведення заходів з техніки безпеки і охорони навколишнього середовища та ін.

Процес проведення випробувань містить зовнішній огляд об'єкта і безпосереднє застосування методів випробувань.

При зовнішньому огляді перевіряють:

- зовнішній вигляд об'єкта випробувань;

- поділки на шкалах вбудованих засобів вимірювань; ціни поділок відлікових пристроїв;

- наявність свідоцтв на використання контура заземлення і клейм.

При випробуванні контролюють:

- функціонування випробувального устаткування, засобів вимірювань, об'єкта випробувань і їх взаємодію;

- правильність і надійність заземлення;
- спрацьовування теплового захисту, аварійної сигналізації, блокування та ін.

При безпосередньому проведенні випробувань слід керуватися існуючою НТД на методи і способи виконання експериментальних операцій, розроблених для визначення відповідних характеристик випробувань. У спірних ситуаціях необхідно діяти згідно з ТУ.

Вироби, призначені для роботи спільно з іншими виробами, слід випробовувати на стенді або аналогічній системі, куди слід встановлювати випробний продукт разом з іншими виробами або їх еквівалентами, якщо інший порядок не обумовлено в ТУ.

Якщо ТУ не визначено, то підлаштовувати (регулювати) виріб в процесі випробувань забороняється.

У разі відмови в процесі випробувань змінного елемента виріб вважають таким, що не витримав випробування, або, якщо це встановлено в ТУ, допускається заміна елемента, що відмовив. При його заміні випробування тривають або повторюються за пунктами, виконання яких могло вплинути на відмову змінного елемента. Якщо елемент повторно виходить з ладу, вважають, що виріб не витримав випробування.

Крім того, вважають негативним результатом, якщо в процесі випробування виявлено невідповідність виробу хоча б одній вимозі, встановленій в ТУ під час проведення ПЗВ.

Виріб, що не витримав випробування, представник замовника повертає у ВТК, виклавши в повідомленні причини повернення і бракування. у ВТК вивчають причини невідповідності виробу вимогам ТУ, визначають можливості виправлення дефекту. При неможливості або недоцільності усунення дефектів виріб остаточно бракують й ізолюють від придатних до роботи виробів. Якщо виявлено можливість виправлення дефекту з повторного пред'явлення, то дефект усувають.

Причини невідповідності виробу ТУ і прийняті при цьому підприємством заходи відображають в акті "Аналіз і усунення дефектів і їх причин".

Виріб, в якому дефекти усунено, повторно перевіряють на підприємстві-виготовлювачу, він повторно проходить випробування і приймання ВТК і при позитивних результатах його повторно подають представникові замовника з тим же повідомленням, але з написом "Вторинне" і актом про аналіз і усунення дефектів після повторного огляду ВТК. Якщо повернений виріб повторно не пропонують, то представникові замовника пред'являють тільки акт.

Виріб, що не витримав повторних випробувань, бракують і ізолюють від придатних до роботи виробів.

Факт забракованих виробів при повторних ПЗВ свідчить про можливу дію несприятливого систематичного чинника. Про це може свідчити і факт забракованих за результатами первинних ПЗВ двох виробів підряд. Тому в

цих випадках випробування і приймання виробів припиняють, виявляють і усувають причини, що викликали припинення випробувань і приймання, усувають дефекти, оформляють відповідний документ. Для окремих видів виробів допускається число послідовних забракувань, при перевищенні якого приймають рішення про припинення приймання. Рішення про відновлення приймання ухвалюють замовники і організація, якій підпорядковано підприємство-виготовлювач, або (за згодою замовника) – представник замовника і керівник підприємства, з повідомленням про це замовнику та організації, якій підпорядковується підприємство-виготовлювач.

У разі отримання позитивних результатів випробувань представник замовника приймає виріб, ставить пломби і клейма, в паспорті (формулярі) дає висновок про приймання й придатність виробу.

Прийняті вироби підлягають відвантаженню або здаванню на відповідальне зберігання підприємству-виготовлювачу.

4.2 Періодичні випробування

Періодичні випробування – це контрольні випробування, які проводять з метою:

- періодичного контролю якості виробів (партій);
- контролю стабільності технологічного процесу в період між попередніми та черговими випробуваннями;
- підтвердження можливості продовження виготовлення виробів за відповідною конструкторською і технологічною документацією, ТУ і їх прийманням.

Випробування проводить підприємство-виготовлювач за участю і під контролем представника замовника. У деяких випадках періодичні випробування можна проводити на підприємствах промисловості, які не є виробниками випробуваних виробів, або в організаціях замовника. У цих випробуваннях беруть участь представник заводу виготовлювача і представник замовника.

Періодичні випробування проводять через певний проміжок часу (місяць, квартал, півріччя, рік) або кожен раз після виготовлення певної кількості виробів. Періодичність, обсяг і послідовність випробувань установлюють в ТУ на виріб.

Вироби для періодичних випробувань відбираються представником замовника в присутності представника ВТК з числа виробів, виготовлених у контрольованому періоді у певній кількості й витримавших ПЗВ.

Правила проведення випробувань є аналогічними правилам проведення ПЗВ. Ознаки, за якими виріб вважається таким, що витримав або не витримав періодичні випробування, є такими ж, що і при ПЗВ. А дії і висновки за результатами випробувань є різними.

Якщо виріб витримав періодичні випробування, то вважають підтвердженими:

– якість виробів контрольованого періоду або виробів контрольованої кількості;

– можливість подальшого виготовлення і приймання виробів з тією документацією, за якою виготовлено виріб, що пройшов періодичні випробування, до отримання результатів чергових періодичних випробувань.

Якщо виріб не витримав періодичних випробувань, то припиняються приймання виробів і відвантаження раніше прийнятих виробів. Підприємство-виготовлювач і представник замовника розпочинають аналіз і визначення причин і характерів дефектів. За результатами аналізу складається перелік дефектів, виявлених під час періодичних випробувань, і заходів щодо усунення дефектів і їх причин.

Приймання складових частин власного виготовлення, призначених для комплектації виробів, що поставляються замовникові, в яких за результатами аналізу не виявлено дефектів, дозволяється продовжити.

Якщо характер дефектів такий, що знижує тактико-технічні характеристики виробу, то всі прийняті за контрольований період виробу допрацьовують або замінюють. Прийняті, але невідвантажені вироби для цього повертають на підприємство-виготовлювач.

Після усунення дефектів і причин їх появи допрацьовані або знову виготовлені вироби разом з актом (протоколом), що підтверджує усунення дефектів і правильність вжитих заходів щодо їх попередження, надходять на повторні випробування. Кількість виробів, з якими проводять повторні випробування, встановлюють в ТУ на виріб. Як правило, це подвійна кількість.

При позитивних результатах повторних періодичних випробувань приймання та відвантаження виробів поновлюються. При негативних результатах рішення про подальше виготовлення, відновлення приймання, а також рішення щодо раніше виготовлених виробів приймають замовник і організація, яка керує підприємством-виготовлювачем.

Результати періодичних випробувань, в тому числі повторних, оформляють актом.

4.3 Типові випробування

Типові випробування – це контрольні випробування, що проводять з метою оцінювання ефективності й доцільності запропонованих змінень для внесення в конструкцію виробу або технологію його виготовлення, які можуть вплинути на тактико-технічні характеристики виробу і (або) його експлуатацію.

У спільному вирішенні щодо необхідності проведення типових випробувань у тій або іншій мірі можуть брати участь: замовник, представник замовника, керівники підприємства-виготовлювача, підприєм-

ства-розробника, організацій, у веденні яких перебувають ці підприємства. Участь і ступінь участі визначаються характером внесених змінень.

Випробування проводять на підприємстві-виготовлювачі або в організації замовника. У випробуваннях бере участь представник замовника на підприємстві-виготовлювачі і можуть за необхідності бути учасниками представник підприємства-розробника і представник замовника.

На підприємстві-виготовлювачі розробляють програму і методику типових випробувань, до яких належать приймально-здавальні і періодичні, вимоги до встановлення кількості виробів для випробувань, вказівки щодо використання виробу, що підпадає під типові випробування. Крім ПЗВ і періодичних випробувань можуть бути й інші. Обсяг проведених випробувань має бути достатнім для оцінювання впливу внесених змінень на тактико-технічні характеристики виробів. Програму випробувань або устанавлюють, або узгоджують в інстанціях, які затверджують зміни конструкторської або технічної документації на певний виріб.

На випробування подають вироби, виготовлені з урахуванням внесених змін. Їх готовність до випробувань, а за необхідності і відбір підтверджують співробітники ВТК і представник замовника.

Якщо за результатами випробувань виявлено ефективність і доцільність запропонованих змін, то ці зміни вказують у відповідній документації на виріб. Вироби з внесеними змінами піддають надалі періодичним і приймально-здавальним випробуванням. Якщо ефективність і доцільність запропонованих змін не підтверджено, то їх документацію не вносять. Результати випробувань оформляють актом.

4.4 Сертифікаційні роботи

При сертифікації авіаційну техніку перевіряють на відповідність нормам льотної придатності (НЛП) і вимогам до охорони навколишнього середовища від впливу авіаційних приладів.

Сертифікаційний базис – комплекс НЛП, стандартів і нормативів в області охорони навколишнього середовища, які поширюються на певний зразок авіаційної техніки. Під зразком авіаційної техніки відповідно до діючих правил сертифікації розуміють тип повітряного судна, тип авіаційного маршового двигуна, тип повітряного гвинта і тип допоміжного двигуна.

Сертифікат типу – документ, що видається Авіареєстром і засвідчує відповідність типу зразка авіаційної техніки вимогам сертифікаційного базису.

Сертифікат льотної придатності – документ, що засвідчує відповідність конкретного екземпляра повітряного судна (ПС) вимогам сертифікаційного базису, і є необхідною умовою допуску цього екземпляра ПС до льотної експлуатації (з устанавленими для нього обмеженнями).

Для зразків авіаційної техніки, які відправляють на експорт, передбачено спеціальні експортні сертифікати льотної придатності.

Усі компоненти повітряного судна стосовно сертифікації поділять на три класи:

- перший клас – авіаційний маршовий двигун (АМД), повітряний гвинт (ПГ) і допоміжний двигун (ДД);

- другий клас – фюзеляж, крило, поверхні керування, секції механізації крила, шасі, механічна система керування та інші частини конструкції планера повітряного судна, працездатність яких безпосередньо впливає на льотну придатність ПС;

- третій клас – комплектуючі вироби (КВ), до яких належать будь-які встановлені на ПС, АМД, ПГ і ДД механізми, прилади, елементи обладнання (також сполучне обладнання), стандартні деталі та інші комплектуючі (готові) вироби, використовувані для здійснення польоту ПС.

Компоненти третього класу авіаційної техніки за ступенем впливу їхньої працездатності на льотну придатність зразка поділяють на дві категорії:

- категорія А – вироби, порушення працездатності яких має суттєвий вплив на льотну придатність зразка;

- категорія Б – вироби, що не належать до категорії А, включаючи стандартні деталі.

Мінімальний перелік комплектуючих виробів (КВ) категорії А встановлюється циркуляром Авіареєстру.

Компоненти першого класу проходять сертифікацію з видачею Авіареєстром сертифікатів типу. Компоненти другого класу проходять сертифікацію в складі компонентів ПС.

Сертифікацію КВ третього класу, окремо від компонентів першого класу ПС, називають **кваліфікацією**. Такий особливий термін пов'язано з тим, що, як правило, ці вироби не є самостійними товарами. Відповідно до цього введено поняття кваліфікаційного базису. **Кваліфікаційний базис** – комплект вимог до льотної придатності, вимог технічного завдання на розбирання, державних і галузевих стандартів, які поширюються на певний КВ.

Для забезпечення сертифікації певного типу авіаційної техніки (АТ) КВ, встановлені на ній, мають пройти процедуру кваліфікації.

За її результатами оформляють:

- свідоцтво про придатність виробу – на тип КВ категорії А;

- схвалення на встановлення виробу – на тип КВ категорії Б.

Свідоцтво про придатність виробу – документ, що посвідчує відповідність типу КВ вимогам кваліфікаційного базису.

Лабораторна робота № 1

КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ

Мета роботи: ознайомитися з основними методами контролю герметичності конструкцій і принциповими схемами реалізації контролю.

1.1 Короткі теоретичні відомості

У реальних герметичних конструкціях існують нещільності з величиною натікання в широкому інтервалі значень (від $1,33 \cdot 10^{-13}$ до $1,33 \cdot 10^{-3}$ мм³ МПа / с). У наш час не існує методу, за допомогою якого можна було б забезпечити ефективний контроль герметичності в такому широкому діапазоні течій. Більш того, ряд високочутливих методів (галоїдний, мас-спектрометричний, радіаційний та ін.) стають малоефективними за наявності грубих нещільностей, що призводять або до "отруєння" датчиків течошукачів (галоїдний метод), або забруднення атмосфери приміщення, в якому проводять випробування. Тому контроль герметичності конструкцій виконують декількома методами в два або більше етапів. Це дозволяє використовувати контрольну апаратуру в оптимальному для неї діапазоні роботи і для попередньої перевірки застосовувати більш продуктивні методи. Навіть на етапі контролю з високою чутливістю, наприклад, з використанням мас-спектрометричних течошукачів, передбачено кілька циклів з поступовим збільшенням чутливості до необхідної величини.

Зазвичай при контролі герметичності конструкцій спочатку застосовують компресійні методи: пневматичний, гідростатичний або пневмогідролічний. Контроль герметичності цими методами в ряді випадків поєднують з випробуванням міцності конструкцій. На цьому ж етапі є можливим застосування хімічного або люмінесцентного методу. В подальшому залежно від вимог, що ставляться до контрольного об'єкта, застосовують галоїдний або мас-спектрометричний метод. Цим високочутливим методам може також передувати контроль за допомогою газоаналітичних течошукачів з метою виявлення грубої течі.

Чутливість вибраного методу контролю має бути в два і більше разів вище, ніж задана за технічними умовами герметичність об'єкта.

1.1.1 Вимоги, що ставлять до приміщення, обладнання і технологічного оснащення

При контролі герметичності конструкцій особливі вимоги ставлять до приміщення, в якому проводять випробування. За наявності в атмосфері приміщення значної кількості індикаторних речовин (фреону, гелію, аміаку, радіоактивних елементів та інших) показання течошукачів будуть неточними, а в ряді випадків навіть помилковими. Тому контроль

герметичності вузлів агрегатів, систем слід проводити в спеціальному окремому приміщенні з примусовою припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує нормальну працездатність течешукачів при температурі $293 \pm 5\text{K}$.

Якщо контроль проводять мас-спектричним методом з використанням гелію як індикаторного газу, то найбільший вміст гелію в приміщенні має бути не більше 1,5 нормального піку при 10–15-кратному обміні повітря в годину. Пік гелію вважають нормальним, якщо його вміст у повітрі відповідає $5 \cdot 10^{-4} \%$. Це досягається за допомогою припливно-витяжної вентиляції.

При контролі герметичності галоїдним методом вміст фреону в атмосфері приміщення має бути менше індукованого течешукачем при роботі за найбільш чутливою шкалою. Відповідно при хімічному, радіаційному та інших методах індикаторна маса, плівка, лічильник не мають реагувати на атмосферу приміщення, в якому здійснюють контроль.

Приміщення для випробувань обладнують самостійною системою, що забезпечує продування повітряно-гелієвою, повітряно-фреоною та іншими сумішами і виключає потрапляння індикаторного газу в приміщення для контролю, а також системою збирання індикаторної суміші для повторних випробувань або системою регенерації індикаторного газу. Відстань між отворами для дренажу та забору повітря при примусовій припливно-витяжній вентиляції має бути не менше 10...20 м, щоб виключити забір повітря, що викидається при дренажі.

У приміщенні створюють центральне розведення чистого сухого повітря або технічно чистого азоту з точкою роси не вище 233 K, а також автономні комунікації трифазної мережі напругою 220 або 380 В із заземленням. Приміщення, в якому проводять контроль герметичності, має бути пристосоване для вологого прибирання і повної дегазації від індикаторних речовин (плиткові підлоги, стіни і стелі пофарбовано масляною фарбою та ін.).

Течешукачі, вакуумметри, насоси, все спеціальне оснащення та інше обладнання мають відповідати кресленням, мати паспорти, атестати або іншу технічну документацію. Їх слід вчасно перевіряти і експлуатувати відповідно до вимог інструкцій з експлуатації. При проектуванні оснащення, необхідного для створення об'єктів накопичення, слід прагнути, щоб абсолютний об'єм накопичення був мінімальним, а зазор між поверхнями, що утворюють об'єм накопичення, – рівномірним.

Технологічне оснащення (заглушки, штуцери, прохідники, косинці та інше) виготовляють з необхідним запасом міцності з тим, щоб при установці на елементи конструкції його не пошкодити. В процесі випробувань необхідно застосовувати тільки обміднені таровані і звичайні ключі.

При контролі необхідно забезпечити заміряння концентрації індикаторного газу у всіх частинах ємностей і тупикових кінцях

трубопроводів, а також можливість відведення частини індикаторних сумішей з тупикових в дренаж з метою вирівнювання концентрації індикаторного газу по всьому перевіряємому об'єкту.

Елементи обладнання, оснащення й інструмент хромують, воронують або фарбують у світлі тони.

1.1.2 Підготовка поверхонь конструкцій до випробувань

Поверхні конструкцій, які підготовляють до випробувань на герметичність, мають бути виготовлені відповідно до технічних умов, вимог креслень, прийняті службами контролю і супроводжуватися необхідною документацією. Перед проведенням контролю герметичності поверхні виробів мають пройти перевірку на міцність рідиною або повітрям, якщо це передбачено технічними вимогами.

Підготовка поверхні відповідальних конструкцій до випробувань на герметичність містить очищення, знежирення і видалення рідини з каналів нещільностей. Для очищення і знежирення зовнішніх поверхонь об'єктів застосовують лужні розчини і органічні розчинники. Вироби, що мають гальванічні, хімічні або анодні покриття, очищають і знежирюють в органічних розчинниках. Дрібні вироби очищають і знежирюють методом занурювання у ванни. Великі вироби, для яких цей метод є непридатним, очищають і знежирюють струменевим методом або протиранням серветками, змоченими органічним розчинником (ацетоном, бензином, перхлоретіленом та ін.).

Рідину з нещільностей видаляють після осушування зовнішніх і внутрішніх поверхонь одним з таких методів: конвективним, температурним, температурно-вакуумним (загальним вакуумуванням), одностороннім вакуумуванням, витримуванням у природних умовах, комбінованим. При виборі методу враховують конструктивні особливості виробу і технічні вимоги, що ставлять до нього; наявне на підприємстві обладнання і оснащення; виробничо-економічні чинники.

Метод видалення рідини з нещільностей шляхом витримування виробу в природних умовах застосовують після оброблення його поверхні леткими органічними розчинниками. Решту перелічених методів застосовують після дії очищаючих і знежирювальних засобів на водній основі або після випробування на міцність гідравлічним опресуванням.

Конвективний метод полягає в підігріванні виробу продуванням через його внутрішню порожнину гарячого повітря. Температура повітря для продування виробів не має перевищувати допустиму для виробу температуру за ТУ. Продування виробів гарячим повітрям застосовують в цеху або спеціальній камері, обладнаній штучною або природною вентиляцією. Цей спосіб має відповідати вимогам галузевих стандартів.

Температурний метод полягає в підігріванні виробу в термокамері або термошафі, яким необхідно мати природну або штучну вентиляцію.

При температурно-вакуумному методі виріб розміщують в

термокамері, де його підігрівають і вакуумують. Для видалення рідини з нещільностей спочатку вмикають нагрівальний пристрій, а після досягнення необхідної температури – вакуумний насос і отримують необхідний залишковий тиск.

Метод однобічного вакуумування застосовують при вакуумуванні внутрішньої порожнини виробів або зовнішнього простору. При цьому виріб необхідно поміщати в термокамеру. Вологість повітря в цеху не має бути вище 80 %. Видалення рідини з нещільностей за допомогою вакуумування зовнішнього простору проводять в термокамері або барокамері з продуванням внутрішньої порожнини виробу підігрітим повітрям. У великогабаритних виробках допускається проводити зовнішнє вакуумування тільки найбільш відповідальних ділянок, наприклад, зварних швів. У цьому випадку застосовують малогабаритні вакуумні присоси.

При використанні методу витримування виробу в природних умовах видалення рідини з нещільностей здійснюють при температурі повітря в приміщенні не нижче 293 К і відносній вологості не вище 60 %. Витримування виробу в природних умовах триває до повного видалення рідини з нещільностей.

Видалення вологи з нещільностей комбінованим методом здійснюють шляхом послідовного застосування декількох методів. Комбінований метод застосовують у таких випадках: якщо за технологічним циклом існує великий проміжок часу між операціями видалення рідини з нещільностей і випробуваннями на герметичність або якщо пропускну здатність технологічного обладнання, наявного на підприємстві, є недостатньою.

1.1.3 Порядок виконання контролю герметичності різними методами

Компресійні методи контролю герметичності

При контролі герметичності конструкцій попередньо застосовують компресійні методи (пневматичний, гідростатичний, пневмогідролічний). Залежно від вимог до проваджуваного контролю в подальшому застосовують галоїдний або мас-спектрометричний метод.

При пневматичному методі випробувань контрольований об'єкт заповнюють повітрям або азотом під надлишковим тиском, зазначеним в ТУ. На зовнішню поверхню об'єкта наносять індикаторну речовину. За наявності течії індикаторний газ, проникаючи через неї, утворює бульбашки, за якими якісно оцінюють герметичність об'єкта. Кількісне оцінювання загальної герметичності проводять шляхом вимірювання падіння тиску за певний проміжок часу з наступним перерахуванням на величину витoku

$$Y = V \cdot \Delta P / \tau, \quad (1.1)$$

де τ – час вимірювання падіння тиску.

При гідростатичному методі в об'єкт контролю заливають рідину (2...5%-ний розчин хромпіку біхромату калію ($K_2Cr_2O_7$) у воді, гас, масло, гідросуміш та інше і створюють надлишковий тиск. Після певної витримки проводять огляд або накладення фільтрувального паперу на поверхню з'єднання, що перевіряють. Герметичність об'єкта оцінюють залежно від наявності або відсутності крапель рідини на контрольованій поверхні ("запотівань") або плям на фільтрувальному папері, який використовують як індикатор. Величину витоків визначають кількістю рідини, що витекла, і часом її збирання:

$$V = V_p / \tau, \quad (1.2)$$

де V_p – об'єм рідини, що витекла; τ – час спостереження.

Для зручності індикації витоків у ряді випадків на зовнішню поверхню контрольованого об'єкта попередньо наносять крейдянну обмазку товщиною 40...60 мкм. Для обмазування готують сметаноподібний водний розчин крейди і наносять його за допомогою жорсткої волосяної щітки або будь-яким іншим способом тонким рівномірним шаром на поверхню і висушують. Обсяг рідини, що витекла, визначають шляхом зважування фільтрувального паперу до і після збирання рідини, що витекла:

$$V_p = m_1 - m_2 / \gamma, \quad (1.3)$$

де m_1 , m_2 – маса паперу відповідно до і після збирання рідини;
 γ – щільність рідини.

При пневмогідравлічному методі в конструкції, що перевіряють, створюють надлишковий тиск повітря або азоту і занурюють її в ванну з рідиною (2...5%-ним розчином хромпіку ($K_2Cr_2O_7$) у воді, спиртом та ін.) Глибина занурення у воду – 3...5 мм. Індикацію витоків проводять за частотою появи і діаметром бульбашок газу, що виникають у місцях течій.

Для отримання чистої прозорої води додають алюмоамонієвий галун $NH_4Al(SO_4)_2$ з розрахунку 500 г галуну на 3 л води. Після ретельного перемішування і витримування протягом 1-1,5 доби вода є готовою до використання.

Величину витоків наближено визначають за формулою

$$Y = \frac{\pi d_0^3}{6\tau_0} \cdot P, \quad (1.4)$$

де d_0 – діаметр бульбашки в момент відриву;
 τ_0 – час до відриву бульбашки.

Компресійні методи контролю герметичності мають поширення завдяки простоті, наочності, можливості огляду одночасно всієї поверхні об'єкта, малій вартості матеріалів та оснащення. Недоліками цього методу є: суб'єктивність оцінювання, велика трудомісткість і тривалий цикл контролю, мала чутливість. Крім того, при використанні гасу як індикаторної речовини існує пожежна небезпека на ділянці випробування.

Галоїдний метод контролю герметичності й течешування

Метод оснований на реєстрації в проточному діоді емісії позитивних іонів. Для цього використовують вид емісії, при якому нагрітий електрод є позитивним відносно інших елементів лампи.

Платиновий анод, нагрітий до температури 1073...1173 К, емітує позитивні іони, які можна реєструвати при атмосферному тиску. Емісія позитивних іонів різко зростає за наявності газів, що містять галогени. Принцип дії галоїдного течешукача й оснований на цій властивості, яку спостерігають як при атмосферному тиску, так і в умовах деякого вакууму. Чутливим елементом датчика галоїдного течешукача є платиновий проточний діод. Галоїдний течешукач може виявляти вміст галоїдів у повітрі при концентрації їх 10^{-6} %.

Як індикаторні гази при галоїдному методі контролю герметичності найбільш часто застосовують галогенозамінні вуглеводні – фреон 12 ($\text{CF}_2\text{C1}_2$), фреон 13 (CF_3Cl), фреон 22 ($\text{CMF}_2\text{C1}$), а також шестифтористу сірку SF_6 . Фреони – хімічно інертні і малотоксичні речовини. Із зростанням кількості атомів фтору зменшується токсичність і реакційноздатність фреонів до металів.

Мас-спектрометричний метод контролю герметичності й течешування

Мас-спектрометричний метод течешування є одним з найбільш чутливих і універсальних при контролі герметичності конструкцій. Його оснований на реєстрації іонів індикаторного газу, що потрапив в вакуумну камеру течешукача через наскрізні дефекти контрольованого об'єкта. При мас-спектрометрії суміші газів або парів за допомогою електричних і магнітних полів поділяють за масами.

Мас-спектрометричний течешукач є спрощеним мас-спектрометром, налагодженим на уловлювання дуже малого вмісту індикаторного газу.

Для роботи з мас-спектрометричними течешукачами як індикаторний газ найчастіше застосовують гелій. Його мало міститься в атмосфері ($5 \cdot 10^{-4}$ %) і випробуваних об'єктах. Позитивною властивістю гелію є також його інертність, внаслідок чого він є абсолютно нешкідливим і безпечним у роботі. Як індикаторний газ можна використовувати також гелієво-повітряну і гелієво-азотну суміші.

Одним з основних параметрів, що визначають можливість

застосування течешукачів для вирішення задач контролю герметичності конструкцій, є його газоаналітична чутливість D_{min} , яка характеризується найменшою реєстрованою концентрацією індикаторного газу в аналізованій суміші газів:

$$D_{min} = P_{min}/P_{\Sigma}, \quad (1.5)$$

де P_{min} – загальний тиск аналізованої суміші газів;

P_{Σ} – найменший реєстрований парціальний тиск індикаторного газу в аналізованій суміші.

У перших промислових мас-спектрометричних течешукачах (ПТІ-1, ПТІ-4, ПТІ-6) газоаналітична чутливість $D_{min}=10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-7}$ при загальному газовому потоці $P_{min} \approx 0,266 \text{ мм}^3 \cdot \text{МПа/с}$.

У наступних моделях течешукачів чутливість було значно підвищено:

$$D_{min}=6,66 \cdot 10^{-12}.$$

Найбільш поширеними видами мас-спектрометричного контролю герметичності є такі: обдуванням контрольованої поверхні індикаторним газом, щупом, накопиченням при атмосферному тиску, накопиченням у вакуумі.

Контроль накопиченням при атмосферному тиску є найбільш чутливим при контролі герметичності мас-спектрометричним методом. Його використовують для визначення ступеня герметичності (сумарного витоку через всі наявні наскрізні течі) перевіряємої конструкції.

Суть контролю герметичності накопиченням при атмосферному тиску полягає в такому: навколо об'єкта, що перевіряють, створюється замкнутий захисний герметичний об'єм накопичення. Цей об'єкт заповнюють індикаторним газом (гелієм, гелієво-повітряною або гелієво-азотною сумішшю) до надлишкового тиску, зазначеного в технічних умовах щодо перевірки даного об'єкта. За наявності нещільностей індикаторний газ проникає в замкнутий об'єм накопичення, і концентрація його в цьому об'ємі підвищується. Медичною голкою Льюєра, встановленою на щуп, з'єднаний шлангом з течешукачем, реєструють показання, відповідні певній концентрації гелію в даній зоні об'єму накопичення. Концентрацію гелію в об'ємі накопичення порівнюють із заданою в технічних умовах і визначають відповідність об'єкта, що перевіряють, вимогам герметичності.

При контролі герметичності фланцевих з'єднань трубопроводів (рисунок 1.1) об'єм накопичення 5 виникає між фланцями 1 шляхом герметизації спеціальною стрічкою 4 по зовнішньому периметру фланців. Усередині трубопроводу створюється надлишковий тиск індикаторного газу. За наявності в з'єднанні течій індикаторний газ проникає в об'єм накопичення (міжфланцевий простір). Після певного витримування в об'єм накопичення шляхом проколу стрічки вводять медичну голку Льюєра 2, встановлену на щуп 3, і заміряють концентрацію індикаторного газу в об'ємі за час накопичення.

При контролі герметичності трубопроводів (рисунок 1.2) об'єм накопичення 7 створюється навколо перевіряемого трубопроводу 6 приклеюванням плівки 2 до технологічної оснастки 5 липкою стрічкою 1, наприклад, ПХС. Оснащення має штуцер 4 для заповнення трубопроводу індикаторним газом під надлишковим тиском.

За наявності в матеріалі стінок трубопроводу або в зварному з'єднанні течій індикаторний газ проникає в об'єм накопичення. Після певного витримування в об'єм накопичення проколом стрічки вводять голку Льюєра 3 і заміряють концентрацію індикаторного газу.

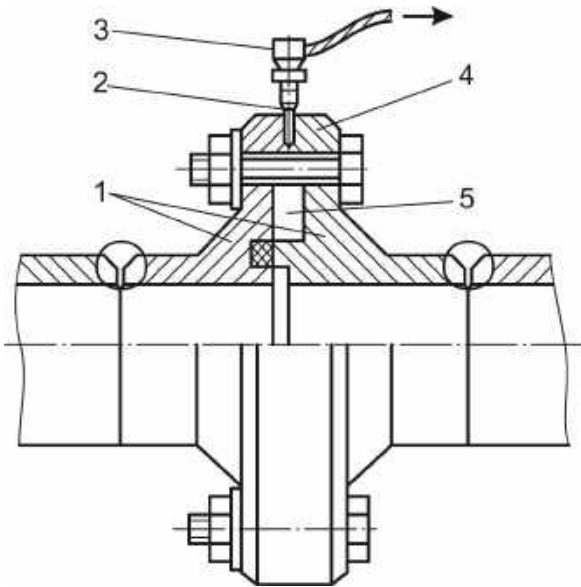


Рисунок 1.1 – Принципова схема контролю герметичності фланцевих з'єднань трубопроводів

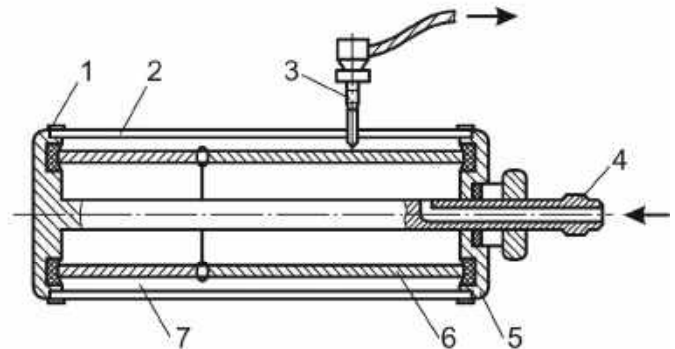


Рисунок 1.2 – Принципова схема контролю герметичності трубопроводів

Принципова схема контролю герметичності колектора показана на рисунку 1.3.

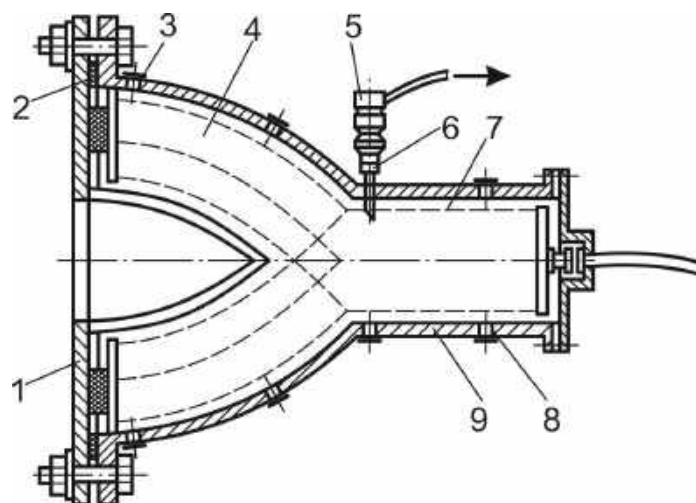


Рисунок 1.3 – Принципова схема контролю герметичності колектора:
 1 – фланець; 2 – прокладка; 3 – заглушка; 4 – колектор; 5 – щуп; 6 – голка Льюєра;
 7 – об'єм накопичення; 8 – ущільнювальна стрічка; 9 – технологічне оснащення

Концентрацію індикаторного газу в обсязі накопичення заміряють аналогічно раніше розглянутим прикладам. Контроль концентрації гелію проводять шляхом порівняння показань течешукача стосовно спеціально приготованої еталонної суміші з показаннями течешукача щодо індикаторного газу в об'ємі накопичення, що перевіряють.

Для приготування еталонної суміші попередньо вакуумований бачок, зазвичай виготовлений з нержавіючої сталі, наповнюють повітрям або азотом, потім за допомогою медичного шприца в нього вводять певну кількість гелію V_p , що визначають за формулою

$$V_p = C \cdot V_e / 100, \quad (1.6)$$

де C – необхідна концентрація гелію в еталонній суміші, %, V_e – об'єм, який займає еталонна суміш, см³.

Для приготування еталонної суміші використовують концентрацію гелію $1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3} \%$ в повітрі.

Гранична чутливість способу накопичення при атмосферному тиску відповідає концентрації гелію в об'ємі накопичення, що дорівнює $2,5 \cdot 10^{-4} \%$.

Контрольні запитання

1. У чому полягають особливості підготування поверхонь конструкцій до випробувань?
2. Які різновиди компресійних методів контролю герметичності ви знаєте?
3. Назвіть індикаторні гази при галоїдному методі контролю герметичності.
4. Які існують види мас-спектрометричного контролю?
5. У чому полягають особливості контролю герметичності фланцевих з'єднань?
6. Опишіть технологію контролю герметичності трубопроводів і колекторів.
7. Яка існує чутливість способу накопичення і інших методів мас-спектрометричного контролю герметичності?
8. Які вимоги ставляться до приміщення, обладнання і технологічного оснащення?

Лабораторна робота №2

РОЗРАХУНОК СОЛЕНОЇДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ НАМАГНІЧУВАННЯ І РОЗМАГНІЧУВАННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МАГНІТНОМУ КОНТРОЛІ

Мета роботи:

1. Ознайомлення з методом розрахунку соленоїдів.
2. Виконання розрахунків соленоїдів для намагнічування і розмагнічування деталей, які є різними за конфігурацією і розмірами.

2.1 Короткі теоретичні відомості

2.1.1 Основні положення

Магнітна дефектоскопія – дослідження спотворень магнітного поля, що виникли в місцях дефектів у виробах з феромагнітних матеріалів (наприклад, з конструкційної сталі).

Установки для магнітного контролю розміщують в окремому приміщенні. Допускається їх розташування у виробничому потоці за умови, що відведена під ці установки ділянка не межує із зонами підвищеного вмісту пилу і має площу не менше 10...15 м². Для контролю великих і важких деталей над дефектоскопом необхідно встановити підйомний кран.

В обладнання магнітного дефектоскопа обов'язково має входити пристрій для регулювання струму і амперметр для безпосереднього відліку струму в ланцюзі, що намагнічує. Для контролю деталей складної форми і великих розмірів дефектоскопи забезпечуються особливо гнучкими проводами перерізом 100...200 мм². Необхідну потужність дефектоскопів для циркулярного намагнічування встановлюють, виходячи з поперечних розмірів деталей, що перевіряються. Максимальна сила струму в дефектоскопах для циркулярного намагнічування може змінюватися в межах від 50 до 10000 А при напрузі холостого ходу до 24...36 В. Магнітам для намагнічування і розмагнічування деталей подовженої форми слід мати магнітне поле не менше 150 ерстед при вставленій деталі. Для намагнічування дисків напруженість поля в соленоїді має бути не менше 400...450 ерстед, а для розмагнічування – не нижче 200 ерстед.

Напруженість магнітного поля в соленоїді в загальному вигляді описують формулою

$$H = K \cdot I, \quad (2.1)$$

де H – напруженість магнітного поля, Е;

K – постійна соленоїда, що залежить від розмірів соленоїда та кількості його витків;

I – струм, що протікає по обмотці соленоїда, А.

Зниження змінного струму в соленоїді при внесенні до нього феромагнітної деталі залежить від таких чинників:

- форми деталі;
- розмірів деталі порівняно з розмірами соленоїда;
- кількості витків соленоїда;
- марки сталі та її термічного оброблення.

Розрахунок соленоїдів проводять, виходячи з таких величин:

- напруги мережі;
- напруженості магнітного поля в центрі соленоїда при внесеній деталі;
- розмірів деталі;
- форми перерізу деталі;
- призначення соленоїда.

Розрахунок соленоїда зводиться до визначення:

- розмірів його обмотки, тобто її довжини й поперечного перерізу;
- кількості його витків;
- перерізу проводу обмотки.

Схему конструкції соленоїда показано на рисунку 2.1.

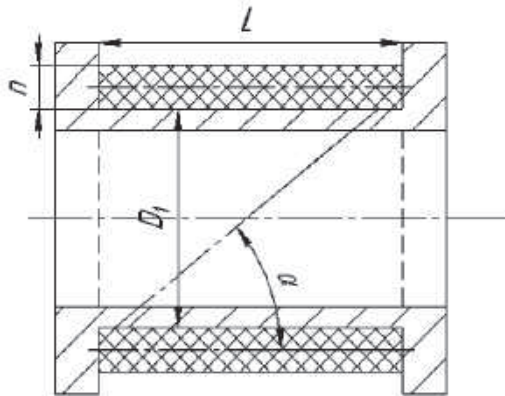


Рисунок 2.1 – Схема конструкції соленоїда

2.1.2 Вплив форми деталі при розрахунку змінного струму

Унаслідок поверхневого ефекту форма деталі впливає на розподіл магнітного потоку між деталлю і повітряним середовищем соленоїда. Тому при внесенні в соленоїд деталей однакового перерізу, але різної форми величина зниження струму також буде різною, що підтверджується проведеними експериментами. Наприклад, при внесенні в соленоїд деталі з двотавровим перерізом відбувається зниження струму приблизно на 30 % більше, ніж у випадку з деталлю з круглим перерізом того ж розміру. Внесення в соленоїд масивної болванки й труби однакового зовнішнього діаметра з товщиною стінки більше 3 мм приводить до приблизно однакового зниження струму, незважаючи на те, що переріз болванки в кілька разів більше перерізу труби.

У зв'язку з цим необхідно вводити поправковий коефіцієнт, що враховує вплив форми перерізу деталі на величину зниження струму в соленоїді. З огляду на різноманітні форми перерізу деталей, що підлягають магнітному контролю в соленоїді, недоцільно й громіздко визначати цей коефіцієнт для кожної форми деталі. Його знаходять експериментально для найбільш поширених, типових форм перерізу. Інші деталі з певним ступенем точності належать до тієї або іншої групи деталей.

Деталь з найбільш простою формою перерізу, наприклад, суцільний циліндр правильної форми з перерізом у вигляді кола приймають за одиницю, тобто за еталон. Шляхом порівняння величини струму в соленоїді при внесенні в нього деталі іншої форми отримуємо поправковий коефіцієнт форми перерізу деталі, який обчислюємо за формулою

$$\varphi = I_e / I_d, \quad (2.2)$$

де I_e – струм в соленоїді при внесенні еталонної деталі;

I_d – струм в соленоїді при внесенні деталі певної форми.

Найбільш типові форми перерізів деталей показано на рисунку 2.2.

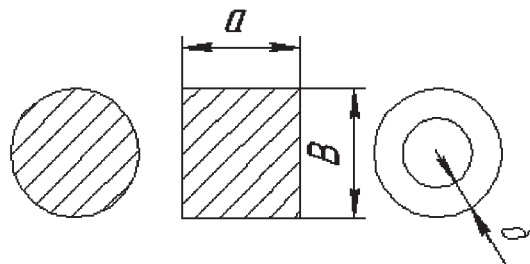


Рисунок 2.2 – Форми поперечних перерізів

2.1.3 Визначення розрахункових значень деталі

Масивні деталі без отворів і простої форми перерізу (круг, багатогранник) прийнято за одиницю – еталон, з яким порівнюють всі інші деталі. Тому розрахунковий переріз цих деталей дорівнює площі їхнього перерізу без будь-яких поправок, тобто їх коефіцієнт φ дорівнює одиниці.

Розрахунковий переріз пустотілих деталей простої форми дорівнює площі перерізу, обчисленої за зовнішніми розмірами перерізу без урахування будь-яких наявних в ньому отворів і помноженої на поправковий коефіцієнт (таблиця 2.1). Значення цього коефіцієнта відображено на кривій, зображеній на рисунку 2.4, а криву побудовано за результатами експерименту, проведеного зі зразками, форми поперечних перерізів яких показано на рисунку 2.2.

Таблиця 2.1 – Поправковий коефіцієнт форми перерізу деталі

a/b	1	1,5	5	10	50
φ	1,03	1,04	1,13	1,23	1,44
δ	0,75	5	6	10	20
φ	0,78	0,94	0,95	0,97	1,03

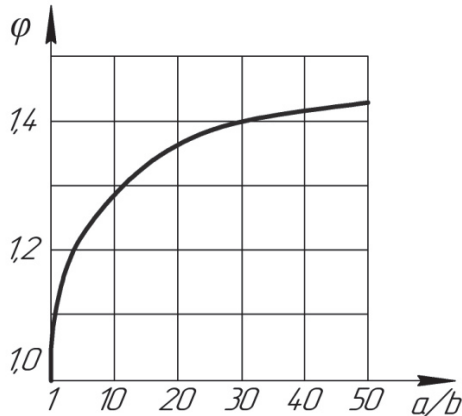


Рисунок 2.3 – Залежність коефіцієнта φ форми перерізу деталі від величини відношення більшої сторони прямокутника до меншої

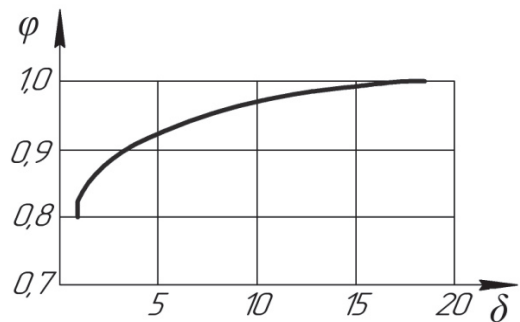


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта φ форми перерізу деталі від товщини стінок пустотілих деталей

Таким чином, розрахунковий переріз пустотілих деталей простої форми визначають за формулою

$$Q_{\text{дет}} = \varphi_z \cdot S, \quad (2.3)$$

де S – переріз деталі без урахування будь-яких наявних в ньому отворів.

Розрахунковий переріз деталей із прямокутним і квадратним перерізами слід визначати за формулою (2.3), а значення φ – за кривою на рисунку 2.3.

Формула для визначення розрахункового перерізу матиме такий вигляд:

$$Q_{\text{дет}} = \varphi_z \cdot \varphi_4 \cdot S. \quad (2.4)$$

Розрахунковий переріз дискових деталей дорівнює товщині диска, помноженій на його діаметр. Довжину деталі визначають за залежністю

$$L_{\text{дет}} = 0,75 \cdot D. \quad (2.5)$$

2.1.4 Визначення розмірів соленоїда

Для обчислення розмірів соленоїда необхідно знати такі значення:

1. Коефіцієнт заповнення соленоїда деталлю за його перерізом, що дорівнює відношенню розрахункового перерізу деталі $Q_{\text{дет}}$ до перерізу соленоїда Q , обчисленого за його внутрішніми розмірами; у разі круглого

перерізу $Q_{\text{дет}} = \pi \cdot D_{\text{дет}}^2 / 4$, а прямокутного – $Q_{\text{дет}} = s \cdot e$ (s, e – сторони прямокутника). Позначимо цей коефіцієнт буквою a , тоді

$$a = Q_{\text{дет}} / Q. \quad (2.6)$$

2. Коефіцієнт заповнення соленоїда по його довжині, що дорівнює відношенню розрахункової довжини деталі до довжини соленоїда.

Позначимо цей коефіцієнт буквою b , тоді

$$b = L_{\text{дет}} / L. \quad (2.7)$$

3. Коефіцієнт зниження струму при внесенні в соленоїд деталі, що дорівнює відношенню струму в соленоїді без деталі I_0 до струму в соленоїді з деталлю I . Позначимо цей коефіцієнт буквою c , тоді

$$c = I_0 / I. \quad (2.8)$$

Функціональні залежності всіх коефіцієнтів показано на рисунках 2.5, 2.6. Графіки, зображені на рисунку 2.5, призначено для визначення коефіцієнта при розрахунку соленоїда, який живиться від мережі 220...380 В, а графіки на рисунку 2.6 – від мережі до 28 В.

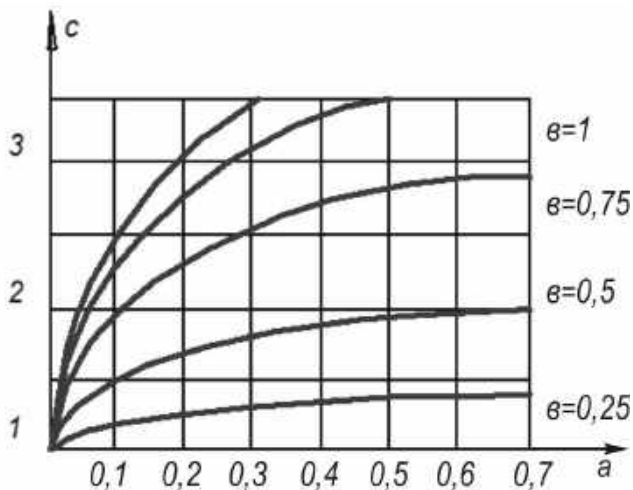


Рисунок 2.5 – Функціональні залежності коефіцієнтів c , a від v при напрузі 220...380 В

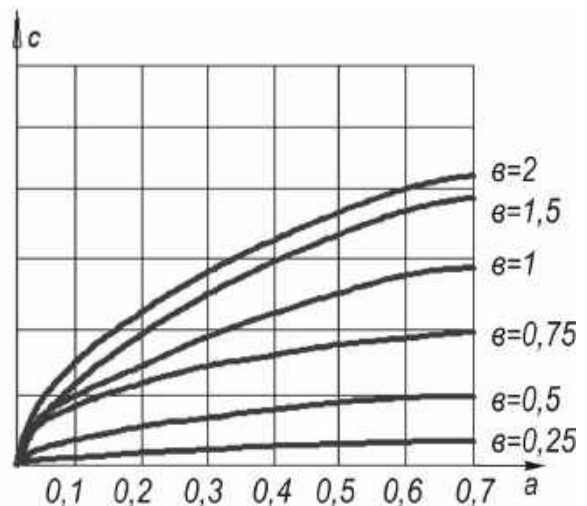


Рисунок 2.6 – Функціональні залежності коефіцієнтів c , a від v при напрузі 28 В

2.2 Методика і порядок розрахунків

Вихідні дані

$D_{\text{дет}}$ – круглий переріз; s, e – прямокутний переріз; $D_{\text{дет}}, \delta_{\text{дет}}$ – кільцевий переріз; $L_{\text{дет}}$ – довжина деталі; U – напруга в мережі, В; H – напруженість магнітного поля, Е; I – струм в соленоїді при внесеній в нього деталі, А; призначення соленоїда – розмагнічування або намагнічування деталей.

2.2.1 Розрахунок розмірів обмотки соленоїда

1. Спочатку необхідно знайти розрахунковий переріз деталі ($Q_{\text{дет}} = \pi \cdot D_{\text{дет}}^2 / 4$ – круглий переріз; $Q_{\text{дет}} = s \cdot e$ – прямокутний).

2. Далі треба вибрати числове значення коефіцієнта c . При цьому необхідно враховувати, що при невеликому його значенні під час внесення деталі в соленоїд буде меншим зниження струму. Однак це призводить до значного збільшення розмірів соленоїда, що потребує більшої кількості мідного дроту і більшої витрати енергії. Тому величину c рекомендується вибирати так: при живленні $U = 220 \dots 380$ В $c = 1,5 \dots 2$; при $U = 28$ В $c = 1,2 \dots 1,5$.

3. Залежно від вибраного коефіцієнта c та напруги U за рисунком 2.5 або 2.6 необхідно визначити коефіцієнт a . Знаючи коефіцієнт a , можна знайти переріз соленоїда $Q = Q_{\text{дет}} / a$.

4. Величину коефіцієнта b соленоїда, призначеного для намагнічування і розмагнічування деталей за допомогою зниження струму в соленоїді до нуля, необхідно вибирати в діапазоні $b = 0,25 \dots 1$. Після цього можна знайти довжину соленоїда $L = L_{\text{дет}} / b$.

2.2.2 Розрахунок кількості витків соленоїда

Кількість витків соленоїда визначають за формулою

$$\omega = p \cdot U \cdot 10^6 / 4.44 \cdot f \cdot \sqrt{2} \cdot H'_0 \cdot Q, \quad (2.9)$$

де p – поправковий коефіцієнт, що залежить від форми соленоїда, тобто від відношення внутрішнього діаметра D соленоїда до його довжини L ; U – напруга мережі, В; f – частота мережі, Гц; Q – переріз соленоїда, см²; H'_0 – розрахункова напруженість магнітного поля, Е.

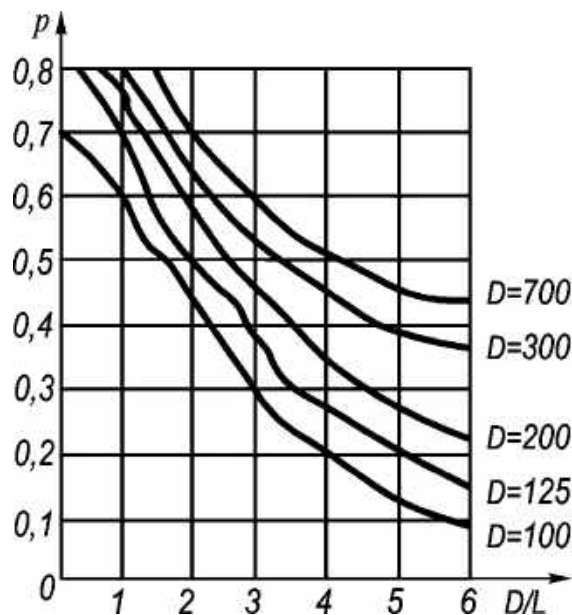


Рисунок 2.7 – Залежність поправкового коефіцієнта p від форми соленоїда

Поправковий коефіцієнт вибирають згідно з кривими, показаними на рисунку 2.7.

Для мережі частотою 50 Гц формула (2.9) набуває вигляду

$$\omega = p \cdot U \cdot 10^6 / \pi \cdot H'_0 \cdot Q. \quad (2.10)$$

Внутрішній діаметр соленоїда

$$D = \sqrt{4Q/\pi}. \quad (2.11)$$

Розрахункова напруженість магнітного поля

$$H'_0 = c \cdot H. \quad (2.12)$$

Після визначення кількості витків необхідно обчислити розрахунковий струм у соленоїді без внесеної деталі:

$$I_0 = c \cdot I.$$

Далі необхідно скорегувати всі отримані раніше величини. Дійсний коефіцієнт зниження струму

$$c' = g \cdot c. \quad (2.13)$$

Коефіцієнт g вибирають із таблиці 2.2.

Кількість витків

$$\omega' = \omega \cdot c/c'; \quad (2.14)$$

струм

$$I'_0 = I_0 \cdot c'/c; \quad (2.15)$$

напруженість

$$H'_0 = H_0 \cdot c'/c. \quad (2.16)$$

Таблиця 2.2 – Дійсні величини

ω	g	ω	g	ω	g	ω	g	ω	g
4	0,915	20	0,86	80	0,97	600	1,015	1200	1,065
5	0,95	25	0,89	100	0,976	700	1,025	1300	1,07
6	1,00	30	0,91	200	0,98	800	1,035	1400	1,08
8	1,09	50	0,94	415	1,00	1000	1,045	1600	1,095
9	1,145	60	0,955	500	1,005	1100	1,055	1700	1,10

2.2.3 Розрахунок перерізу дроту обмотки соленоїда

Кількість ампер-витків, необхідних для створення розрахункової напруженості магнітного поля, обчислюють за формулою

$$AW = I_0 \cdot \omega = H_0 \cdot \sqrt{D_0^2 + L^2} / 0,4 \cdot \pi \quad (2.17)$$

або

$$AW = I_0 \cdot \omega = H_0 \cdot L / 0,4 \cdot \pi \cdot \cos(\alpha), \quad (2.18)$$

де D_0 – середній діаметр соленоїда.

При обчисленні ампер-витків задаються товщиною h обмотки, а після її розміщення розраховують за виразом

$$h = n_B \cdot d_{із} / \gamma, \quad (2.19)$$

де $d_{із}$ – діаметр ізолюваного дроту;

γ – коефіцієнт щільності укладки ($\gamma = 0,85 \dots 0,9$ для соленоїдів прямокутного і круглого перерізів відповідно);

n_B – число шарів обмотки.

Знаючи кількість ампер-витків, необхідний струм у соленоїді визначають за формулою

$$I_0 = AW / \omega. \quad (2.20)$$

На основі щільності струму δ_0 знаходять переріз дроту

$$q = I_0 / \delta_0, \text{ мм}^2. \quad (2.21)$$

Щільність струму рекомендують вибирати в діапазоні $\delta_0 = 15 \dots 18 \text{ А/мм}^2$, враховуючи короткочасність роботи соленоїда.

У разі багатошарової обмотки необхідно ізолювати один шар від одного будь-яким ізоляційним матеріалом.

Кількість витків n_C у шарі визначають за формулою

$$n_C = L \cdot \Delta / d_{із} - 1, \quad (2.22)$$

де Δ – коефіцієнт щільності намотування ($\Delta = 0,95 \dots 0,98$ при ручному й машинному намотуванні відповідно);

L – довжина соленоїда, мм.

Кількість шарів обмотки обчислюють за виразом

$$n_B = \omega / n_C. \quad (2.23)$$

Для розрахунку соленоїдів змінного струму відповідно до завдання, виданого викладачем, слід знати: напругу, напруженість магнітного поля в центрі соленоїда, розміри деталі, форму перерізу деталі, призначення соленоїда.

Контрольні запитання

1. У чому полягають особливості застосування магнітного методу?
2. Назвіть об'єкти контролю, їхні характеристики.
3. Який вплив має форма деталі на розрахунок соленоїда змінного струму?
4. Як визначити коефіцієнт заповнення соленоїда деталлю?
5. Як вибрати величину коефіцієнта зниження струму?
6. Як визначити напруженість магнітного поля соленоїдів?
7. Як вибрати величину напруги мережі, яка живить соленоїд?

Лабораторна робота № 3

УЛЬТРАЗВУКОВА ДЕФЕКТОСКОПІЯ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ЛА

Мета роботи:

1. *Ознайомитися з принципом роботи ультразвукових дефектоскопів.*
2. *Навчитися виконувати вибраковування запропонованих деталей і знаходити приховані дефекти конструкцій.*

3.1 Короткі теоретичні відомості

В роздільно-суміщеному режимі апаратури імпульси ультразвукових хвиль посилають в об'єкт контролю (ОК). Якщо на тракті є дефект, то імпульс частково відбивається від нього в суміщений перетворювач (СП) як ехосигнал. Окремим приймачем (П) оцінюють падіння амплітуди наскрізного сигналу, викликане дефектом.

У суміщеному або роздільному режимі апаратури імпульси ультразвукових хвиль посилають в ОК. Якщо на тракті є дефект, то він перегороджує їх шлях, викликаючи падіння донного сигналу. Спостерігаючи за падінням донного сигналу, роблять висновок про наявність і величину дефекту.

3.2 Опис приладу

Як приклад розглянемо прилад для проведення робіт – дефектоскоп марки УДЗ-103 (рисунок 3.1) з комплектом п'єзоелектричних перетворювачів (рисунок 3.2), що працює на різних швидкостях поширення ультразвукової (УЗ) хвилі в матеріалі зразків різної товщини.

Дефектоскоп призначено для ультразвукового контролю основного металу і зварних з'єднань листових елементів, труб, відповідальних деталей конструкцій суднобудівної, авіаційної промисловості, а також для вимірювання товщини виробів із металу та інших матеріалів. Дефектоскоп забезпечує виявлення дефектів, що порушують суцільність виробу (тріщин, пор), з вимірюванням і реєстрацією в пам'яті характеристик виявлених дефектів. Його можна використовувати при монтажі, експлуатації та ремонті в машинобудуванні, металургійній промисловості, на транспорті та інших галузях.

За допомогою дефектоскопа проводять контроль зварних швів у зразках таврового, трубного зварних з'єднань, зразках листового прокату та ін. (рисунок 3.3, 3.4).



Рисунок 3.1 – Ультразвуковий дефектоскоп УДЗ–103



а



б

Рисунок 3.2 – П'єзoeлектричні перетворювачі: а – перетворювачі товщиноміра ТУЗ; б – перетворювачі ультразвукового дефектоскопа

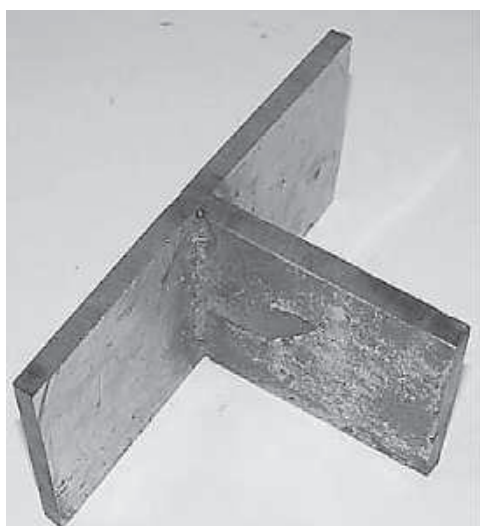


Рисунок 3.3 – Зразок таврового зварного з'єднання



Рисунок 3.4 – Зразок трубного зварного з'єднання

3.3 Правила безпечного виконання роботи і порядок проведення контролю

Ультразвуковий контроль є досить безпечним методом, тому в ході робіт застосовуються загальні правила безпеки. Забороняється використовувати обладнання не за призначенням, розбирати, вмикати в різні некомплектні перетворювачі та ін.

Згідно з інструкцією оператор настраює прилад на контроль виданого зразка – підбирає п'єзоелектричний перетворювач (ПЕП) за швидкістю поширення УЗ-хвиль і товщиною контролюємого зразка, вписує умовний номер контролера в дефектоскоп. Прилад працює згідно з налаштуванням «за замовчуванням» до появи візуального і звукового сигналів про наявність дефекту.

До контролю зразок необхідно готувати в такій послідовності:

- очистити за допомогою скребка поверхню від іржі, що відшаровується, і бруду. В межах цієї поверхні відповідно до умов контролю має переміщатися ПЕП;
- протерти чистою ганчіркою;
- покрити поверхню контактною рідиною для забезпечення надійного акустичного контакту.

Погане очищення контрольованої ділянки поверхні різко погіршує якість акустичного контакту, знижує реальну чутливість контролю, сприяє прискореному стиранню контактної поверхні ПЕП, що призводить до змінення кута введення променя і збільшення мертвої зони.

Як контактну рідину можна застосовувати:

- при контролі горизонтальних поверхонь – мінеральне масло, гліцерин, акустичний гель, воду (в умовах мінусових температур – розчин етилового спирту);
- при контролі вертикальних поверхонь – мінеральне масло, в'язкість якого слід підбирати з урахуванням температури навколишнього повітря і контрольованого металу.

При переміщенні ПЕП необхідно стежити за щільним приляганням його до поверхні виробу. Надмірний тиск, що не сприяє поліпшенню акустичного контакту, призводить до швидкої втоми руки оператора і спрацьовування ПЕП.

Пошук дефектів слід проводити з двох протилежних напрямків.

Ознакою виявлення дефекту при контролі за ехометодом є виникнення на екрані ехосигналу, максимальна амплітуда якого перевищує поріг спрацьовування автоматичного сигналізатора дефекту (АСД). При контролі похилим ПЕП ехосигнал зміститься по екрану при зміщенні ПЕП. Появу ознаки дефекту також може бути викликано наявністю клейм та інших конструктивних відбивачів, а також поверхневих дефектів, бруду і залишків контактуючого мастила.

Ознакою виявлення дефекту за дзеркально-тіньовим методом (ДТМ) є зменшення амплітуди донного сигналу нижче порога спрацьовування

АСД. Ознакою дефекту при контролі за тіньовим методом є зменшення амплітуди проникаючого сигналу.

Появу ознаки дефекту за ДТМ і тіньовим методом може бути викликано також наявністю отворів, клейм і бруду на поверхні сканування ПЕП, порушенням акустичного контакту, зміщенням ПЕП один відносно одного та ін.

Для підвищення надійності й достовірності проведення контролю, а також розпізнавання дефектів і перешкод можна застосовувати:

- автоматичну сигналізацію дефектів;
- режим «Обвідний»;
- режим «W-розгортка»;
- режим «Лупа».

Підготовка дефектоскопа до роботи відбувається таким чином: проводять зовнішній огляд дефектоскопа і комплекту перетворювачів і кабелів, мережного адаптера, головних телефонів. За необхідності усувають недоліки, потім для проведення контролю перевіряють комплектність таких інструментів і приладдя

– стандартних зразків для настроювання основних параметрів дефектоскопа;

- металевої рулетки;
- металевої лінійки;
- переносної лампи напругою 36 В;
- дзеркала;
- лупи зі збільшенням не менше $\times 4$;
- щітки металевої, шабера або скребка;
- волосяної щітки;
- шліфувальної шкурки;
- обтирального матеріалу;
- ємності з контактовою рідиною;
- фарби масляної;
- кистей для нанесення контактової рідини і фарби на дефектні місця виробу;

– крейди.

Для вмикання дефектоскопа необхідно виконати такі дії:

1. Приєднати мережний кабель до мережного адаптера.
2. Приєднати штекер із розетки до розетки (220 В, 50 Гц).
3. Переконалися, що на корпусі мережного адаптера загорівся зелений світлодіод.
4. Приєднати низьковольтний кабель від мережного адаптера до розніму «24 V» на комутаційній панелі блоку електронного (БЕ) дефектоскопа.
5. Установити тумблер «ВКЛ ВНУТР / ВКЛ ЗОВНІШ» на комутаційній панелі дефектоскопа в положення «ВКЛ ВНУТР».

У момент ввімкнення дефектоскопа має пролунати звуковий сигнал, після чого на екрані з'явиться заводський номер, а також меню режиму роботи.

Перед початком роботи потрібно ввести шифр оператора, який дозволяє захистити інформацію в пам'яті дефектоскопа від несанкціонованих змінень або видалень, визначити оператора, який проводить контроль. Після цього можна приступати до проведення контролю зразка з настройками «за замовчуванням».

Процес контролю передбачає виконання оператором таких дій:

- 1) попередньої підготовки об'єкта контролю (очищення поверхні, розташування в просторі) і приладу;
- 2) проходження ПЕП по контрольованій поверхні до спрацьовування сигналу приладу;
- 3) дослідження дефекту (визначення його форми і величини);
- 4) повторного контролю для уточнення параметрів дефекту;
- 5) внесення відомостей про дефект у звіт про контроль.

Контрольні запитання

1. Якою є достовірність вивченого методу?
2. Які особливості має процес контролю порівняно з іншими методами?
3. Якими способами і прийомами роботи слід користуватися для підвищення достовірності методу?
4. Чим відрізняються роздільний, суміщений і роздільно-суміщений перетворювачі?
5. У чому полягає п'єзоелектричний ефект?
6. У чому полягає суть ехометоду?
7. Якою є суть дзеркально-тіньового методу?

Бібліографічний список

1. Белокур, И. П. Дефектоскопия и неразрушающий контроль [Текст]/ И. П. Белокур. – Киев: Вища шк., 1990. – 208 с.
2. Белокур, И. П. Дефектоскопия материалов и изделий [Текст] / И. П. Белокур, В. А. Коваленко. – Киев: Техніка, 1989. – 192 с.
3. Запунный, А. И. Контроль герметичности конструкций [Текст] / А. И. Запунный, Л. С. Фельдман, В. Ф. Регаль.– Киев: Техніка, 1976. – 151 с.
4. Кушнарченко, С. Г. Неразрушающие методы контроля и испытаний элементов летательных аппаратов [Текст] / С. Г. Кушнарченко. – Харьков: Харьков. авиац. ин-т, 1975.– 60 с.
5. Методы магнитного и магнитно-люминесцентного контроля стальных деталей [Текст]: сборник инструкций. – М.: Оборонгиз, 1956. – 104 с.

Навчальне видання

Застела Олександр Миколайович

Воронько Ірина Олексіївна

**ВИПРОБУВАННЯ ЛІТАКІВ І ЇХНІХ СИСТЕМ
В ОСНОВНИХ І СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЦЕХАХ
АВІАПІДПРИЄМСТВА НА РІЗНИХ СТАДІЯХ
ВИРОБНИЦТВА**

Редактор В. М. Коваль

Зв. план, 2017

Підписано до друку 14.06.2017

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 3,6. Обл.-вид. арк. 4. Наклад 50 пр.

Замовлення 195. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001