

О. М. Застела, І. О. Воронько,  
O. M. Zastela, I. O. Voronko

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

**AIRCRAFT AND THEIR SYSTEMS TESTING  
IN THE MAIN AND SPECIALIZED AIRLINE WORKSHOPS  
AT DIFFERENT PRODUCTION STAGES**

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
MINISTRY OF EDUCATIONAL AND SCIENCE OF UKRAINE

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»  
National Aerospace University  
«Kharkiv Aviation Institute»

О. М. Застела, І. О. Воронько,  
O. M. Zastela, I. O. Voronko

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

Навчальний посібник

**AIRCRAFT AND THEIR SYSTEMS TESTING  
IN THE MAIN AND SPECIALIZED AIRLINE WORKSHOPS  
AT DIFFERENT PRODUCTION STAGES**

Educational aid

Харків «ХАІ» 2024  
Kharkiv «KhAI» 2024

УДК 629.735.33.018.4.002 (075.8)

3-36

The aid highlights the basic concepts and classification of aircraft equipment testing and also describes integrated testing at a flight test station and airfield aircraft systems testing at an aviation enterprise. The book discusses the main methods for structure tightness monitoring and schematic diagrams for the non-destructive testing implementation. It presents the principles of ultrasonic flaw detection, magnetic testing, and solenoid calculation.

For students studying disciplines in the Subject Area 134 Aerospace Engineering.

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В. В. Воронько,  
канд. військ. наук, доц. Ю. І. Пушкарьов

**Застела, О. М.**

3-36 Випробування літаків та їхніх систем в основних і спеціалізованих цехах авіапідприємства на різних стадіях виробництва [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. М. Застела, І. О. Воронько. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2024. – 208 с.

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 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Іл. 66. Табл. 8. Бібліогр.: 8 назв

**УДК 629.735.33.018.4.002 (075.8)**

© Застела О. М., Воронько І. О., 2024

© Національний аерокосмічний  
університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2024

## ВСТУП

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

Підготовка містить 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. Усе 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 та всередині літака; заправляють

системи літака паливом, стисненим повітрям, гідросумішшю і киснем; перевіряють аварійні люки і катапультуюче сидіння. Перед зльотом перевіряють роботу двигунів, справність радіозв'язку.

5. Льотні випробування. На цьому етапі 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 здачі.

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 здачі 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 та 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 визначити рівень якості продукції. Дефекти, які виявлено МНК зазвичай 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.). Слід зазначити, 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.

Нині 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 задання 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 при 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 деталей, комплектів та агрегатів виробів здійснюють контроль 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 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 не піддавались цим випробуванням, що дає змогу зберегти їх ресурс роботи. Контроль і випробування виконують 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 та 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, у першу чергу за параметрами, що перевіряють, і характером впливу. При цьому різні види випробувань проводять у межах 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 прийняття на основі результатів певних рішень. Іншою їх ознакою є задання 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 спричинені функціонуванням об'єкта, а також режими роботи об'єкта, способи і місце його установлення, 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 під час випробувань.

Випробування класифікують за такими чинниками: 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 й 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 у 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 певної 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 баках, 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 контрольно-

вибірковими випробуваннями протягом певного року.

Основним документом для проведення досліджень є "Програма і методика випробувань" і для категорій випробувань на етапі серійного виробництва – "Технічні умови". В них установлено 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 указано 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 установлюють 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, невагомість, 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 контрольні-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, оскільки відмови при завищених умовах випробувань можуть призвести до непотрібних перероблень конструкції, 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 дало змогу 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 змін у конструкцію, технологію або обладнання.

Усі наземні випробування мають бути завершено до проведення льотних.

З партії виробів, що пройшли 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 пов'язана 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, які здійснюються 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 організовувати 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 1.



Рисунок 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 окремому приміщенні.

У складі лабораторії необхідно передбачити комору і майстерню для підготовки зразків, ремонту апаратури, виготовлення пристроїв, 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 упровадженням. 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 до комплексу ЦЗЛ, то в штатному розкладі слід передбачати посади металознавця або хіміка. Зазвичай 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 контролю 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 проєктування 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 додають 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 завдяки модульній її побудови. Застосування комплексу модулів (блоків) для побудови систем автоматичного контролю економить час і кошти розробника і виробника цих систем. Використання виробів інтегральної мікроелектроніки дало змогу 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 пристроїв, призначених для механізації процесу контролю. Такі пристрої 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'язане 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 установалення 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.



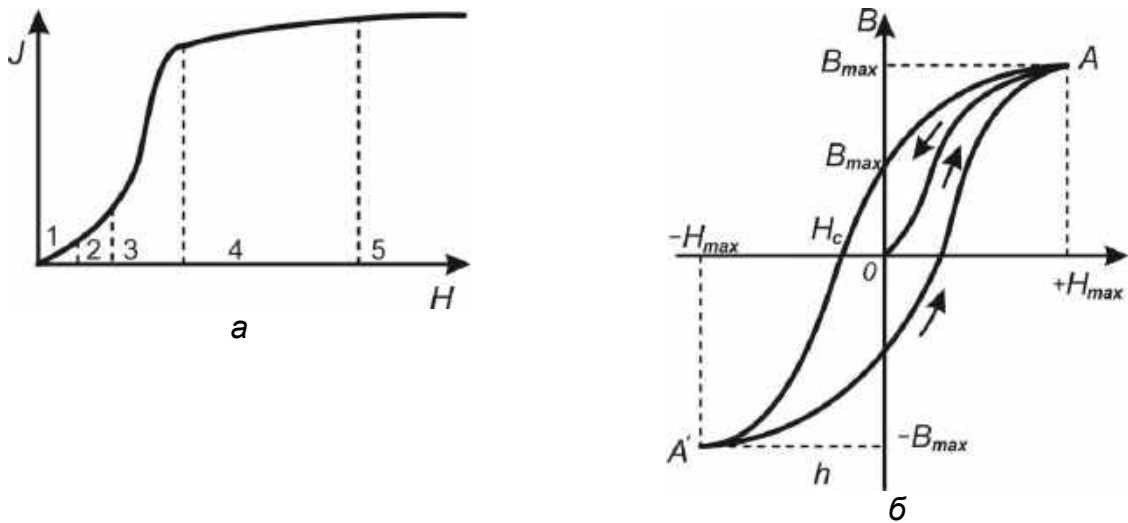


Рисунок 2 – Залежність намагніченості (а) і магнітної індукції (б) від напруженості поля електромагнітних матеріалів

Вектори магнітної індукції  $B$  і намагніченості  $J$  є нелінійними функціями вектора напруженості. Криві  $B(H)$  і  $J(H)$  характеризують основні властивості феромагнітних матеріалів (рисунок 2). Основна крива намагніченості (див. рисунок 2, а) не має точного аналітичного виразу, зазвичай її визначають експериментально. Якщо розглянути криву намагніченості феромагнітних 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 парапроцесу) – 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 відрізняється 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 більшою або меншою мірою намагніченим залежно від матеріалу (див. рисунок 2, б). Якщо змінити напрямок намагніченості поля на протилежний і збільшувати його за абсолютною величиною, то намагніченість зразка буде зменшуватися (криві  $B_0$ ,  $H_0$ ) і при досягненні деякого значення намагніченість поля буде дорівнювати нулю.

Подальше збільшення поля спричиняє 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, що відповідає точці  $A$ , тобто спостерігати змінення магнітного стану випробуваного зразка по замкнутій петлі гістерезису.

## **Метод контролю сталевих деталей магнітним порошком**

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 певної форми деталі і орієнтування дефектів) напрямок магнітних силових ліній.

2. Метод магнітного порошку дає змогу 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 матеріалу;
- 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, які виконуються 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 подрібнений 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 зазвичай в місцях концентрації напружень: на галтелях, в місцях різких переходів, надрізах, глибоких рисках, слідах різця, в основах різей, 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 з метою 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 через скін-ефект 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 сотень 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-ЗМ, який змонтовано в металевій валізі. До комплексу дефектоскопа входять:

- ручний електромагніт зі знімними наконечниками;
- соленоїд із внутрішнім діаметром 90 мм;
- гнучкий кабель довжиною 4 м;
- бачок для суспензій об'ємом 1 л;
- банка об'ємом 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 вихороструминного контролю, характеризують кількісні зв'язки між структурою і властивостями матеріалу з урахуванням інших чинників, що впливають на них. У таблиці 2 наведено дані про чутливість фізичних методів дефектоскопії.

Таблиця 2 – 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 (струминновихрова) 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 контрольованій металевій деталі 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 металевих виробах з неелектропровідним покриттям (емаллю, лакофарбами і т. п.) і на виробах 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  $\Phi_{\lambda}$  на матеріал відбувається розкладання його на складові частини. Залежно від властивостей матеріалу це розкладання може бути різним (рисунок 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:

$$\rho_{\parallel}(\lambda) = \frac{\operatorname{tg}^2(\theta_1 - \theta_2)}{\operatorname{tg}^2(\theta_1 + \theta_2)}; \quad (1)$$

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

де  $\theta_1$  і  $\theta_2$  – відповідно кути відображення й заломлення при нормальному падінні світлового потоку, перехід з одного матеріалу з показником заломлення  $n_1$  в інший з показником заломлення  $n_2$ .

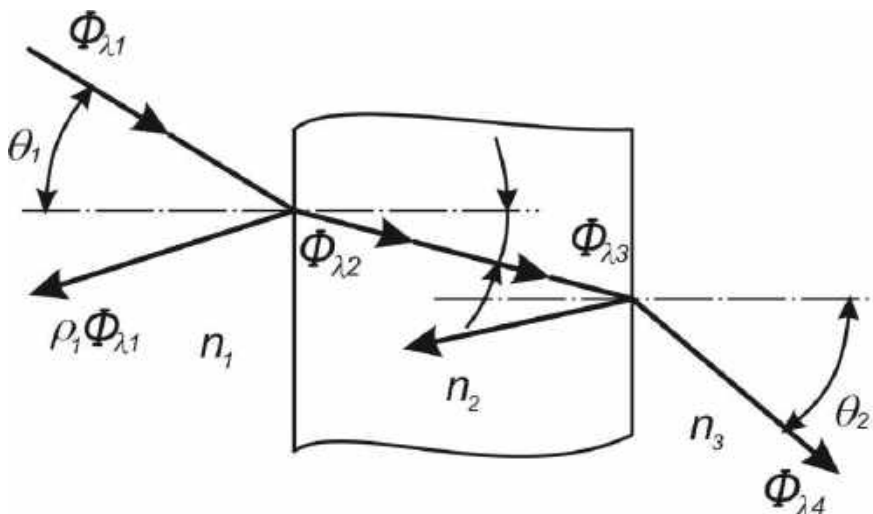


Рисунок 3 – Схема відображення й заломлення променя під час проходження через плоскопаралельну пластинку

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

Спектральний коефіцієнт відбиття

$$\rho(\lambda) = \left[ \frac{(n_2 - n_1)}{(n_2 + n_1)} \right]^2. \quad (4)$$

Спектральний коефіцієнт відбиття – це відношення відбитого спектрального світлового потоку  $\Phi_{\lambda 1}$  до падаючого  $\Phi_{\lambda 1}$ . Цей коефіцієнт пов'язаний зі спектральним коефіцієнтом пропускання  $\tau(\lambda)$  і спектральним

коефіцієнтом поглинання  $\alpha(\lambda)$ , як і у випадку інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, співвідношенням

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1. \quad (5)$$

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 й 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, оснований на застосуванні як термоперетворювача екрана з рідких кристалів, наприклад Lita товщиною  $\approx 0,1$  мм.

Температура і її розподіл є непрямими параметрами, що дають змогу оцінити режим роботи, наявність прихованих дефектів і змінення електричних параметрів елементів радіоелектронних пристроїв. Після встановлення монтажу елементів і мікросхем плати контролюють за допомогою ІЧ-випромінювання або радіочастотного зонда. Методи випробувань ІЧ-випромінюванням оснований 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. Результуючий 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 виконують на 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 дають змогу 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, мають бути 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 облплетенням.

Після контролю геометричних форм усі 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 частинок. 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 заміняють 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, взятій з гідросистеми. Гідросистему вважають чистою, якщо в  $100 \text{ см}^3$  проби миючої рідини забруднень міститься не більше, ніж вказано в стандарті.

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 заміняють 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 заповненню трубопровідних систем 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 установленим 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 у 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) повинні мати 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 припрацювання 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 дає змогу виявити вплив одних систем на інші.

Організація стендового відпрацювання окремих споріднених груп систем у поєднанні з комплексним відпрацюванням дає змогу перевірити взаємозв'язок і стикування систем у наземних умовах, істотно підвищити кількість 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 і 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 контрольньо-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 електричній системі. 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 рознімів ланцюгів, що перевіряють. При вмиканні відповідних перемикачів на пультах і в кабіні літака за контрольним амперметром і сигнальною лампочкою на пультах 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 заблоковано 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 маслоснарядниками, 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 відпрацьовуються, змінюється склад наземного обладнання, яким оснащується кожне робоче місце.

До особливої групи 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'єктивності контролю) залежать від повноти відтворених робочих режимів системи, ступеня автоматизації відтворення зовнішніх умов роботи системи, змінення її параметрів, вимірювання і реєстрації одержаних даних.

Моделюючи випробувальні стенди дають змогу:

- перевіряти теоретичні розрахунки, прийняті при розробленні нової апаратури;

- визначати оптимальні схеми і параметри для проєктованої 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 у зв'язку з реєстраціями від експлуатуючих організацій;

- моделювати конструктивні й виробничі дефекти для 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 установлюють на поворотному крузі. 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 за заздальгідь 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 принцип – 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 більш доцільним є 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 контрольно-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 завдань 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 установлення датчиків апаратури, діапазон вимірювань і перелік вимірюваних параметрів. Це дає змогу досить вірогідно робити висновки щодо параметрів ЛА і процесів, що проходять на його борту в усіх цих ситуаціях. При відповідному обробленні результатів вимірювань є можливим прямо або непрямо визначити:

- 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 під час 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 завдяки виконанню ряду робіт у 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 літак також 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

комплексом 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 пристрої, 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 випускання шасі застосовують спеціальні гідравлічні підйомники.

Після переведення літака із цеху загального складання на ЛВС проводять перевірку електрообладнання, гідро- і пневмосистем, паливної і маслосистеми, системи заправлення баків і тарування, 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 надходить від агрегатів, що приводяться в рух двигунами. Такий контроль є властивим тільки для аеродромного 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 випускання 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. Тарування 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 електро-струму в дроті й іскор від ударів. Електроживлення вмикають тільки після заправки і перевірки на герметичність паливної системи. Для кращого виявлення місць витоку палива 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 об'єму, 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 різній висоті, прибирання і випускання шасі, роботу висотної і протиобліднювальної системи, а також міцність літака шляхом створення перевантажень. Ряд показників реєструється контрольно-записувальною апаратурою.

Усі дефекти, що виявлені під час 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. Зазвичай 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 зазвичай на підприємстві-виготовлювачі, але деякі види виробів можуть проходити випробування в інших організаціях промисловості і в організаціях замовника. Матеріально-технічне і метрологічне забезпечення здійснює підприємство-виготовлювач (в іншому випадку – організація, яка проводить випробування, і підприємство-виготовлювач за узгодженими рішеннями).

Види випробувань (електричні, механічні, кліматичні, на надійність та 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 певного 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 представнику замовника про те, 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;

- 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 контуру 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-виготовлювачі, 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 привели до припинення випробувань і приймання, усувають дефекти, оформляють відповідний документ. Для окремих видів виробів допускається кількість 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 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 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. Зазвичай 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 тією або іншою мірою можуть брати участь: замовник, представник замовника, керівники підприємства-виготовлювача, підприємства-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 змін 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 в 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 зазвичай 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.

#### 4.5 Технічне обслуговування та ремонт літака

Успішне використання нових матеріалів та конструктивних рішень залежить від програм технічного обслуговування, які одночасно є економічно-ефективними та забезпечують безпеку пасажирів.

Програми технічного обслуговування розробляються для кожного



нового типу літака на основі попереднього досвіду роботи з аналогічними матеріалами, двигунами, компонентами або конструкціями. Нові матеріали або конструкції, досвід роботи з якими невеликий, обслуговуються частіше, поки не буде напрацьовано та встановлено його базовий рівень. Збільшення інтервалів між перевірками відбувається на основі спостережень, зроблених під час планових сервісних перевірок. Типовий план технічного обслуговування подано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Типовий план технічного обслуговування

Коли виконується обслуговування	Тип наданої послуги	Вплив на обслуговування авіакомпаній
Перед кожним рейсом	«Обхід» – візуальна перевірка зовнішнього вигляду літака та двигунів щодо пошкоджень, витоків, зносу гальм і шин	Не впливає
Кожні 45 годин (внутрішні рейси) або 65 годин (міжнародні рейси) польоту	Спеціальні перевірки моторних масел, гідравліки, кисню та особливих вимог до літака	Зупинка експлуатації на ніч
Кожні 200–450 годин (22–37 днів) польоту	Перевірка «А» – детальна перевірка салону літака та двигуна, технічне обслуговування та змащування таких систем, як запалювання, генератори, кабіна, кондиціонер, гідравліка, конструкція та шасі	Зупинка експлуатації на ніч
Кожні 400–900 годин (45–75 днів) польоту	Перевірка «В» – випробування крутного моменту, внутрішні перевірки та перевірки засобів контролю польоту	Зупинка експлуатації на ніч
Кожні 13–15 місяців	Перевірка «С» – програма детальної перевірки та ремонту авіаційних двигунів та систем	Зупинка експлуатації на 3–5 днів
Кожні 2 роки (вузькофюзеляжні літаки)	Перевірка та повторне нанесення антикорозійних покриттів	Зупинка експлуатації до 30 днів
Кожні 3–5 років	Великі структурні перевірки з уважністю до втомних ушкоджень, корозії і т. д. Літаки розбираються, ремонтуються та відновлюються. Літак перефарбовується за необхідності	Зупинка експлуатації до 30 днів

Цілі ефективної програми технічного обслуговування полягають у такому:

- забезпечити за допомогою проведення робіт з технічного обслуговування підтримку властивих повітряному судну безпеки та надійності, закладених у його конструкції;
- забезпечити можливості для відновлення рівня безпеки та надійності у разі погіршення стану;
- отримати інформацію для модифікації конструкції, коли внутрішня надійність недостатня;

– досягти переліченого вище з мінімальними витратами.

### *Структурне обслуговування*

Будь-яка програма створення нових літаків базується на оцінюванні інформації про конструкцію літака, оцінюванні втоми та стійкості до пошкоджень, на досвіді експлуатації аналогічних конструкцій літаків та одержаних відповідних результатах випробувань. Зазвичай завдання технічного обслуговування оцінює джерела структурного зносу, включаючи випадкове пошкодження, погіршення умов навколишнього середовища та втомне пошкодження; сприйнятливості конструкції до кожного джерела руйнування; наслідки структурного погіршення для збереження льотної придатності, включаючи вплив на повітряне судно (наприклад, втрата функціональності та зниження залишкової міцності, багатовузлове або багатоелементне втомне пошкодження, вплив на політ повітряного судна або характеристики реагування, спричинені взаємодією структурних пошкоджень або виходом з ладу систем або елементів електростанції, або втратою конструктивних елементів у польоті), а також застосовність та ефективність різних методів виявлення структурної руйнації з урахуванням порогових значень перевірок та інтервалів повторення.

### *Обслуговування компонентів*

Застосування нових матеріалів не викликає у авіакомпаній непотрібних труднощів або труднощів при технічному обслуговуванні за умови, що конструктор літака знайомий із досвідом роботи з компонентами. Досвід авіакомпаній показує, що обладнання зношується, але статистичне вікове зношування складних механічних, електричних та авіаційних компонентів не є домінуючою причиною відмов. Фактично, понад 90 % типових деталей демонструють або випадкову відмову, або поступове збільшення ймовірності відмови від віку.

Надійність частини або компонента обладнання літака настільки хороша, наскільки це дозволяє її власна конструкція (підкріплена відповідним обслуговуванням). Отже, загальноприйнято, що, по-перше, хороше технічне обслуговування дає змогу деталям досягти потенційної надійності, по-друге, надмірне обслуговування не підвищує надійність, але призводить до втрати грошей, по-третє, недостатнє обслуговування може знизити надійність. Загалом, для усунення проблем з надійністю, властивих компонентам, потрібні фундаментальні зміни в конструкції.

Існує три підходи до профілактичного обслуговування, які довели свою ефективність. Перший метод, *"жорсткий часовий ліміт"* (*hard time*), передбачає виведення пристрою з експлуатації, коли він досягає заздалегідь заданого значення параметра. Другий метод, функціональна перевірка або інспекція, містить моніторинг характерних розмірів або параметрів використання/роботи частини апаратного забезпечення, щоб визначити, чи придатна вона для подальшої експлуатації, чи її слід видалити, щоб запобігти збою в роботі. Третій метод, функціональна

верифікація, потребує виконання технічної перевірки функцій апаратного забезпечення визначення доступності кожної функції, якщо вона зазвичай прихована від уваги льотного і робочого екіпажів.

Існує безліч компонентів, для яких вимірювання зношування, періодичне зняття для технічного обслуговування та перевірка прихованих функцій економічно недоцільні або не вигідні. Такі деталі потребують регулярного контролю працездатності та надійності, а профілактичне обслуговування не потрібне і не бажане. Сучасні літаки більш стійкі до відмов, ніж старі конструкції літаків, через підвищений запас, передбачений у конструкції.

Зазвичай більшість авіакомпаній класифікують конкретні завдання з технічного обслуговування компонентів таким чином:

- мастило або обслуговування, де поповнення витратних матеріалів знижує швидкість функціонального зносу;

- експлуатаційна або візуальна перевірка, де ідентифікація несправності може бути можливою;

- огляд або функціональна перевірка, де можливе виявлення зниження стійкості до відмов, швидкість зниження стійкості до відмов має бути прогнозована;

- відновлення тих елементів, які показують функціональні характеристики деградації при досягненні певного віку, щоб більшість одиниць досягла цього віку і могла бути відновлена до необхідної стійкості до відмов відповідного стандарту;

- вибраковування тих елементів, які показують функціональні характеристики деградації при досягненні певного віку, щоб більшість одиниць досягла цього віку, очікується, що більшість одиниць досягне цього віку.

Несправності компонентів мають бути очевидними для робочого екіпажу, не робити прямого негативного впливу на безпеку (чи відбуваються вони як одинична чи множинна подія) та мінімізувати вплив на роботу повітряного судна.

## 5 ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ І СЕРТИФІКАЦІЯ НА КОНКРЕТНИХ ПРИКЛАДАХ AIRBUS A380

### 5.1 Забезпечення льотної придатності

До початку серійного виробництва літаки Airbus проходять складну та сувору льотну перевірку та сертифікацію (рисунок 4). Після схвалення та сертифікації літак допускається до експлуатації. Цей великий процес детально описаний у параграфах нижче з конкретними прикладами Airbus A380, A350 XWB та A320neo.



Рисунок 4 – Airbus A321neo під час випробування на влучення води в межах своєї сертифікаційної кампанії

Флагман Airbus XXI століття A380 був сертифікований двома основними міжнародними керівними органами — Агентством авіаційної безпеки Європейського Союзу (EASA) та Федеральним управлінням цивільної авіації США (FAA) — у грудні 2006 року в межах програми, розпочатої понад п'ять років тому. Зрештою наліт становив понад 2600 годин із парком із п'яти випробувальних літаків.

Щоб забезпечити надійність A350 XWB з моменту його введення в комерційну експлуатацію в січні 2015 року, Airbus реалізував одну з найретельніших програм випробувань, які колись були розроблені для реактивних лайнерів. Програма льотних випробувань і сертифікації A350-900, яка тривала трохи більше 14 місяців, що є рекордом для галузі,

містила парк з п'яти літаків, які виконали понад 2600 льотних годин, при цьому сертифікат типу був отриманий від EASA і FAA у вересні і листопаді 2014 року відповідно.

Випробування та сертифікація реактивних лайнерів сімейства A320neo складала шість версій: A319neo, A320neo та A321neo проходили перевірку планера, систем та двох варіантів силової установки, пропонувані на кожному типі літаків: двигуни LEAP-1A та Pratt & Whitney PurePower PW1100G-JM компанії CFM International. Компанії також підтвердили, що літак відповідає цільовим характеристикам з погляду на витрати пального та дальності польоту – на основі вибору двигунів останнього покоління та великих закінцівок крила Sharklet.

## 5.2 Структурні статичні випробування

При підготовці до першого польоту реактивний лайнер нового виробництва, такий як двопалубний A380 і нове покоління A350 XWB, піддається структурним статичним випробуванням, які містять: калібрувальні випробування льотно-випробувальної установки (FTI), максимальний вигин крила при граничному навантаженні та інтерцепторів при максимальному згинанні крила (див. рисунок 5), випробування фюзеляжу тиском, втомні випробування та моделювання льотних циклів.



Рисунок 5 – Випробування крила A350 XWB при граничному навантаженні з демонстрацією прогину закінцівок крила на п'ять метрів

При випробуваннях на втому досліджують, як конструкція літака реагує на навантаження протягом тривалого періоду часу та на різних

етапах його експлуатації, таких як рулювання по злітно-посадковій смугі, зліт, крейсерський політ та посадка. Щоб відтворити ці умови, на планер поміщається система вантажів, що приводиться в дію гідравлічними домкратами з комп'ютерним керуванням.

Наприклад, випробування втомі А380 тривали 26 місяців і тривали в 2,5 раза більше запланованого проектними послугами.

Загалом під час випробувань було виконано 47 500 польотних циклів: у 2,5 раза більше за кількість польотів, яку А380 здійснив би за 25 років експлуатації. 16-годинний політ був змодельований лише за 11 хвилин. Випробування довели конструкцію літака до межі, щоб виявити чи потрібні конструкції будь-які поліпшення. Заключні випробування та підготовка до польоту — це етап, який містить калібрування приладів, перевірку герметичності кабіни та перевірку навігаційних систем.

### **5.3 Кампанія льотних випробувань**

Програма льотних випробувань літака призначена для оцінювання загальних якостей керуваності, експлуатаційних характеристик, аеродромного шуму та роботи систем у штатному режимі, сценаріях відмов та екстремальних умов і завершується сертифікацією органів льотної придатності.



Рисунок 6 – Двотижневі випробування Airbus A350 XWB у Кліматичній лабораторії Мак-Кінлі у Флориді, США

Для випробувань А380 в екстремальних погодних умовах Airbus відправляв двопалубний лайнер з Північної Канади до спекотної пустелі Перської затоки та до спекотних і високогірних Ефіопії та Колумбії, у той

час як оцінювання A350 XWB містило випробування в умовах холоду у Ікалуїті, Канада, оцінювання на висоті в Ла-Пасі, Болівія, роботу в спекотну погоду в Аль-Айні, Об'єднані Арабські Емірати.

Крім того, A350 XWB став першим літаком Airbus, який відвідав кліматичну лабораторію Мак-Кінлі в американському штаті Флорида (рисунок 6). У цьому унікальному місці лайнер зазнавав впливу різних кліматичних умов – від 40 °С до мінус – 40 °С в ангарі із клімат-контролем.

Подальші сертифікаційні льотні випробування були присвячені випробуванням на потрапляння води, випробуванням на зліт на малій швидкості, на флаттер та перерваний зліт та посадку. На додаток до випробувань вихрового сліду – турбулентності повітря, що створюється позаду літака під час зльоту – необхідних для сертифікації, Airbus виконав багатосерійні випробування та вимірювання у цій галузі.

Сертифікаційні льотні випробування сімейства A320neo містили перевірку двигунів нового покоління LEAP-1A та PurePower PW1100G-JM, у тому числі їх економічного споживання палива та меншого впливу на навколишнє середовище завдяки зниженню викидів оксиду азоту та шуму двигунів. Крім цього, були перевірені керованість та льотно-технічні характеристики літака, а також робота таких систем, як автопілот.

#### **5.4 Сертифікація**

Сертифікація є нормативним зобов'язанням, згідно з яким сертифікуються всі повітряні судна, їх двигуни та гвинти. За "Сертифікатом типу", що видається для підтвердження льотної придатності конструкції літака, іде "Сертифікат льотної придатності", який дозволяє експлуатацію літаків у певних країнах або регіонах.

Процес сертифікації охоплює весь процес розроблення нового літака. Він містить різні етапи:

- детальний огляд проекту;
- розгляд результатів випробувань та участь у лабораторних дослідженнях;
- огляд випробувань та участь у польотних випробуваннях (для врахування змін за результатами досліджень);
- активна участь експлуатантів повітряних суден у визначенні конструкції, розробленні та впровадженні послуг.

Компетентні органи кожної географічної юрисдикції контролюють процес сертифікації. Сьогодні існують дві основні системи сертифікації літаків:

- для США діють правила FAR 25;
- для Європейського Союзу – правила JAR 25.

Кожен орган влади має право вимагати певних умов, тоді як виробник літаків завжди має заздалегідь планувати сертифікацію країнами-імпортерами.



Рисунок 7 – Airbus «Early Long Flights» тестує салон, технології та системи нового літака в нормальних умовах експлуатації

Крім успішних льотних випробувань, подальшими яскравими подіями введення в експлуатацію A380 стали випробування на сумісність з аеропортами: загалом 38 аеропортів, відвідуваних по всьому світу. Літаки продемонстрували здатність працювати так само, як подібні їх аналоги, що вже експлуатуються.

Для A350 XWB глобальний тур з перевірки маршруту – один з останніх кроків на шляху до сертифікації – дозволив цьому вискоєфективному лайнеру відвідати 14 великих аеропортів у чотирьох різних рейсах, пролетівши загалом близько 81 700 морських миль за 180 льотних годин.

Ще одним важливим аспектом випробувань A380 та A350 XWB були програми Early Long Flights (ELF), які виходили за межі сертифікаційних вимог. Для цих оцінювань льотно-випробувальний літак, обладнаний кабіною, експлуатувався на комерційних рейсах, що моделюються, з реальними «пасажирами», що складаються зі співробітників Airbus, і реальними льотними екіпажами авіакомпаній для оцінювання систем кабіни в типових умовах експлуатації (рисунок 7).



## Лабораторна робота № 1

### КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ

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

#### Теоретичні відомості

У реальних герметичних конструкціях існують нещільності з величиною натікання в широкому інтервалі значень (від  $1,33 \cdot 10^{-13}$  до  $1,33 \cdot 10^{-3}$  мм<sup>3</sup> МПа/с). У наш час не існує методу, за допомогою якого можна було б забезпечити ефективний контроль герметичності в такому широкому діапазоні теч. Більш того низка високочутливих методів (галоїдний, мас-спектрометричний, радіаційний та ін.) стають малоефективними за наявності грубих нещільностей, що призводять або до "отруєння" датчиків течешукачів (галоїдний метод), або забруднення атмосфери приміщення, в якому проводять випробування. Тому контроль герметичності конструкцій виконують декількома методами в два або більше етапів. Це дає змогу 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 течешукачів, передбачено кілька циклів з поступовим збільшенням чутливості до необхідної величини.

Зазвичай при контролі герметичності конструкцій спочатку застосовують компресійні методи: пневматичний, гідростатичний або пневмогідравлічний. 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 течешукачів з метою виявлення грубої течі.

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

#### ***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 ін.) показання течешукачів 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 течошукачів при температурі  $293 \pm 5$  К.

Якщо контроль проводять мас-спектрометром 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 течошукачем 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 К, 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, пофарбовані масляною фарбою, та ін.).

Течошукачі, 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 ін.) виготовляють з необхідним запасом міцності з тим, щоб при установленні 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 в усіх 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 об'єкту, що перевіряється.

Елементи обладнання, оснащення й інструмент хромують, воронують

або фарбують у світлі тони.

### ***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 струминним методом або протиранням серветками, змоченими органічним розчинником (ацетоном, бензином, перхлоретиленом 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 очищувальних 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 пропускна здатність технологічного обладнання, наявного на підприємстві, є недостатньою.

### ***Порядок виконання контролю герметичності різними методами***

#### ***Компресійні методи контролю герметичності***

При контролі герметичності конструкцій попередньо застосовують компресійні методи (пневматичний, гідростатичний, пневмогідрравлічний). 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 спаду тиску за певний проміжок часу з наступним перерахуванням на величину витoku

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

де  $\tau$  – час вимірювання спаду 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;  $\tau$  – час спостереження.

Для зручності індикації витоків у ряді випадків на зовнішню поверхню контрольованого об'єкта попередньо наносять крейдяну 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. Об'єм 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;  
 $\gamma$  – густина 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 теч.

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;  
 $\tau_0$  – час до відриву бульбашки.

Компресійні методи контролю герметичності значно поширені 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 течешукування*

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 ( $\text{CF}_2\text{C}_1_2$ ), фреон 13 ( $\text{CF}_3\text{Cl}$ ), фреон 22 ( $\text{CMF}_2\text{C}_1$ ), а також шестифтористу сірку  $\text{SF}_6$ . Фреони – хімічно інертні і малотоксичні речовини. Із зростанням кількості атомів фтору зменшується токсичність і реакційноздатність фреонів до металів.

### *Мас-спектрометричний метод контролю герметичності й течешукування*

Мас-спектрометричний метод течешукування є одним з найбільш чутливих і універсальних при контролі герметичності конструкцій. Його оснований на реєстрації іонів індикаторного газу, що потрапив у 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 завдань 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;

$P_{\Sigma}$  – найменший реєстрований парціальний тиск індикаторного газу в аналізованій суміші.

У перших промислових мас-спектрометричних течношукачах (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 течношукачів чутливість було значно підвищено:

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

Найбільш поширеними видами мас-спектрометричного контролю герметичності є такі: обдування контрольованої поверхні індикаторним газом, накопичення при атмосферному тиску, накопичення 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) конструкції, що перевіряються.

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 певного 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 течношукачем, 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 теч 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 трубопроводу 6, що перевіряється, 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

теч 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.

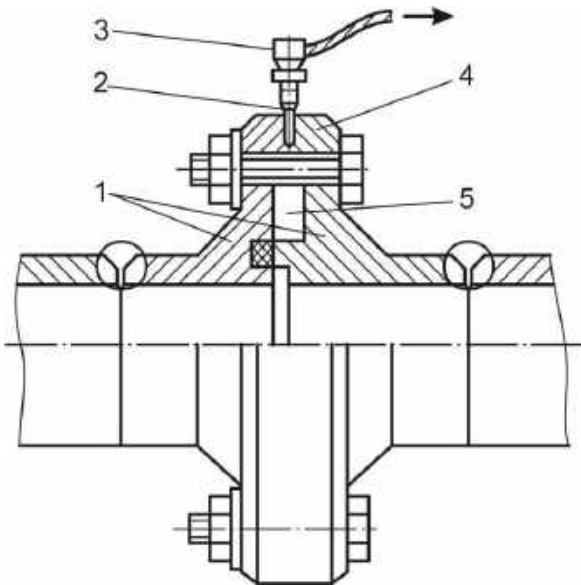


Рисунок 1.1 – Принципова схема контролю герметичності фланцевих з'єднань трубопроводів

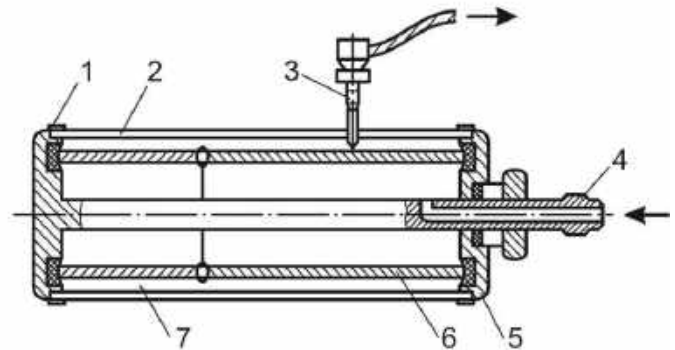


Рисунок 1.2 – Принципова схема контролю герметичності трубопроводів

Принципову схему контролю герметичності колектора показано на рисунку 1.3.

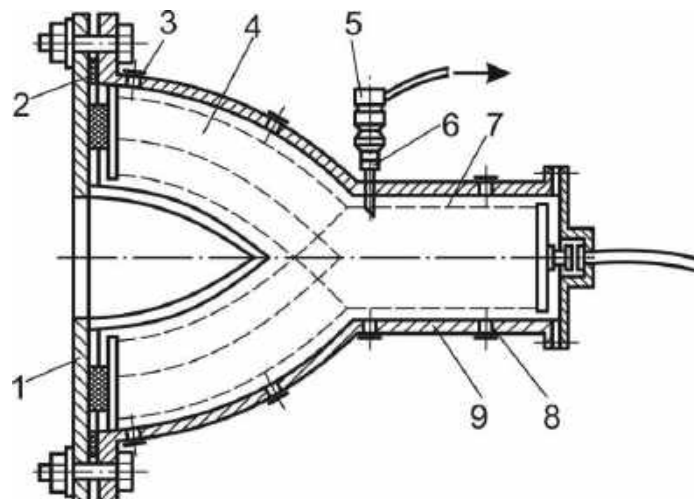


Рисунок 1.3 – Принципова схема контролю герметичності колектора:  
1 – фланець; 2 – прокладка; 3 – заглушка; 4 – колектор; 5 – щуп; 6 – голка Льюєра;  
7 – об'єм накопичення; 8 – ущільнювальна стрічка; 9 – технологічне оснащення

Концентрацію індикаторного газу в об'ємі 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

$$V_p = C \cdot \frac{V_e}{100\%}, \quad (1.6)$$

де  $C$  – необхідна концентрація гелію в еталонній суміші, %;

$V_e$  – об'єм, який займає еталонна суміш,  $\text{см}^3$ .

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 та 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. Ознайомитися з методом розрахунку соленоїдів.
2. Виконати розрахунки соленоїдів для намагнічування і розмагнічування деталей, які є різними за конфігурацією і розмірами.

#### **Теоретичні відомості**

##### **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 м<sup>2</sup>. Для контролю великих і важких деталей над дефектоскопом необхідно встановити підйомний кран.

До 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 мм<sup>2</sup>. Необхідну потужність дефектоскопів для циркулярного намагнічування визначають, 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. Магніти для намагнічування і розмагнічування деталей подовженої форми повинні 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;

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

$I$  – струм, що проходять 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.

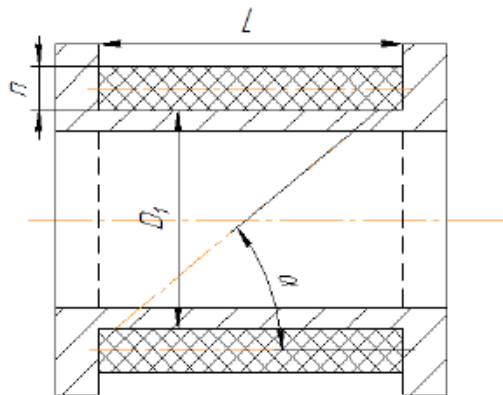


Рисунок 2.1 – Схема конструкції соленоїда

### ***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, беруть 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.

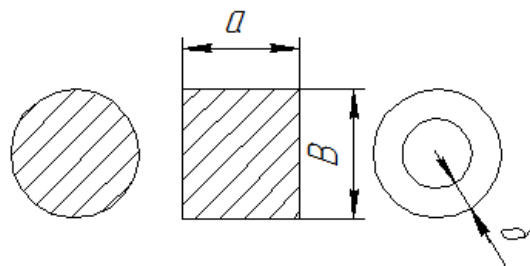


Рисунок 2.2 – Форми поперечних перерізів

### **Визначення розрахункових значень деталі**

Масивні деталі без отворів і простої форми перерізу (круг, багатогранник) взято 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  $\varphi$  дорівнює одиниці.

Розрахункова площа у пустотілих деталях 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
$\varphi$	1,03	1,04	1,13	1,23	1,44
$\delta$	0,75	5	6	10	20
$\varphi$	0,78	0,94	0,95	0,97	1,03

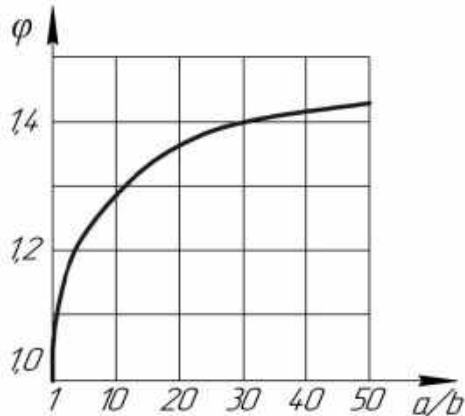


Рисунок 2.3 – Залежність коефіцієнта  $\varphi$  форми перерізу деталі від величини відношення більшої сторони прямокутника до меншої

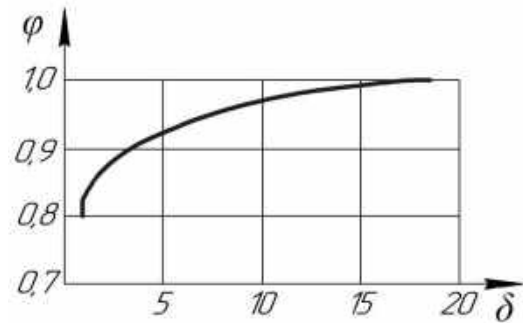


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта  $\varphi$  форми перерізу деталі від товщини стінок пустотілих деталей

Таким чином, розрахункову площу  $Q_{\text{дет}}$  у пустотілих деталях простої форми визначають за формулою

$$Q_{\text{дет}} = \varphi_3 S, \quad (2.3)$$

де  $S$  – площа деталі без урахування будь-яких наявних в ній отворів.

Розрахункову площу деталей із прямокутним і квадратним перерізами слід визначати за формулою (2.3), а значення  $\varphi$  – за кривою на рисунку 2.3.

Формула для визначення розрахункової площі матиме такий вигляд:

$$Q_{\text{дет}} = \varphi_3 \varphi_4 S. \quad (2.4)$$

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

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

### **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.

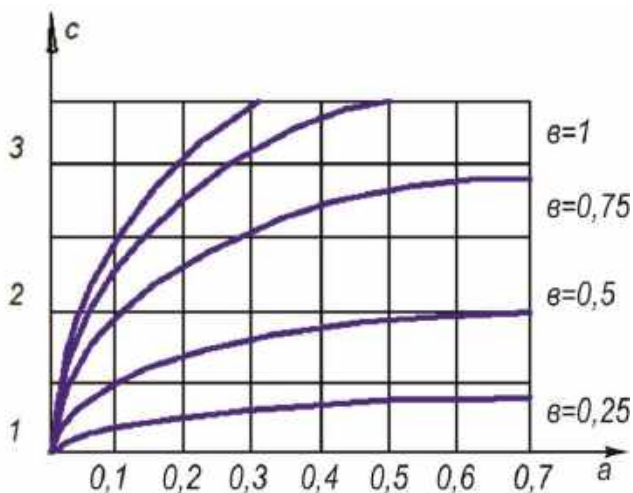


Рисунок 2.5 – Функціональні залежності коефіцієнтів  $c, a$  від  $v$  при напрузі 220...380 В

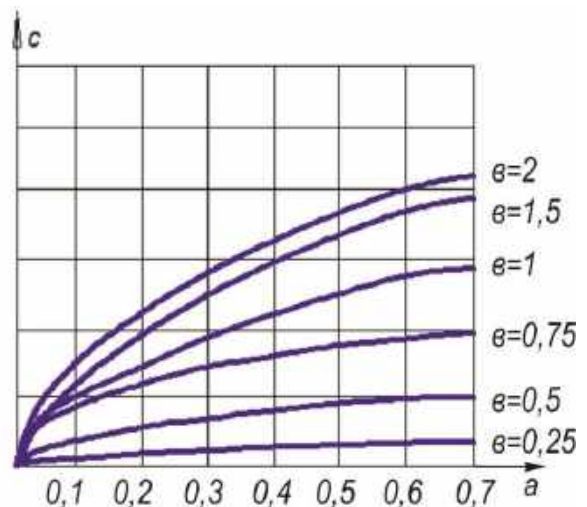


Рисунок 2.6 – Функціональні залежності коефіцієнтів  $c, a$  від  $v$  при напрузі 28 В

## 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.

## Розрахунок розмірів обмотки соленоїда

1. Спочатку необхідно знайти розрахункову площу 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  $L = L_{\text{дет}} / b$ .

## 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;  $Q$  – площа соленоїда, см<sup>2</sup>;  $H'_0$  – розрахункова напруженість магнітного поля, Е.

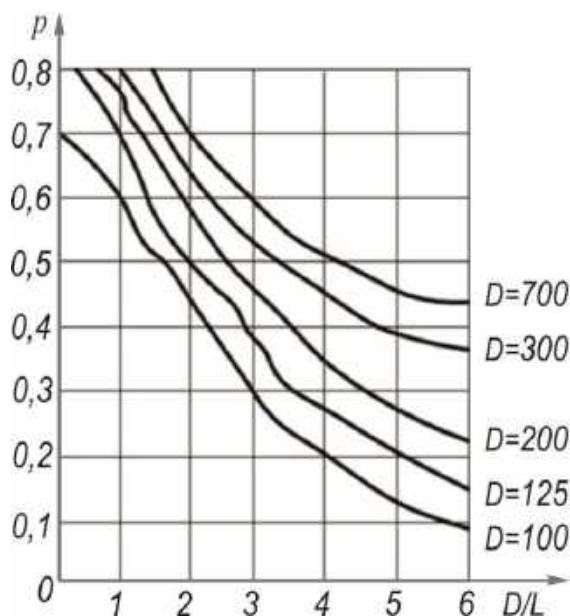


Рисунок 2.7 – Залежність поправкового коефіцієнта  $p$  від форми соленоїда

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

$\omega$	$g$	$\omega$	$g$	$\omega$	$g$	$\omega$	$g$	$\omega$	$g$
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

### **Розрахунок площі 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 задають товщину  $h$  обмотки, а після її розміщення розраховують за виразом

$$h = n_B d_{i3} / \gamma, \quad (2.19)$$

де  $d_{i3}$  – діаметр ізолюваного дроту;

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

$n_B$  – кількість шарів обмотки.

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

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

На основі густини струму  $\delta_0$  знаходять площу переріз дроту

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

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

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

Кількість витків  $n_C$  у шарі визначають за формулою

$$n_C = L\Delta / d_{i3} - 1, \quad (2.22)$$

де  $\Delta$  – 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

### МАГНІТОПОРОШКОВИЙ КОНТРОЛЬ ЦІЛІСНОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ ДЕТАЛЕЙ

#### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з порядком виявлення порушення цілісності в феромагнітних деталях за допомогою магнітопорошкового контролю.
2. Навчитися процедурі проведення магнітопорошкового контролю та виконанню вибраковування деталей.

#### **Теоретичні відомості**

Магнітопорошковий контроль використовується для випробувань матеріалів, які легко намагнічуються. Цей метод здатний виявляти відкриті та підповерхневі дефекти.

Випробуваний зразок намагнічується за допомогою постійного магніту або за допомогою електричного струму, що проходить через зразок або діє навколо нього. Магнітне поле, введене таким чином у зразок, складається з магнітних силових ліній. Щоразу в місці, де виникає дефект, переривається потік магнітних силових ліній. Деякі з цих ліній повинні вийти зі зразка і знову увійти в нього. Ці точки виходу і повторного входу утворюють протилежні магнітні полюси. Розсіпані на поверхні зразка найдрібніші магнітні частинки (магнітний порошок) притягуються цими магнітними полюсами, створюючи візуальну індикацію, що наближено передає розмір і форму дефекту (рисунок 3.1, а, б).

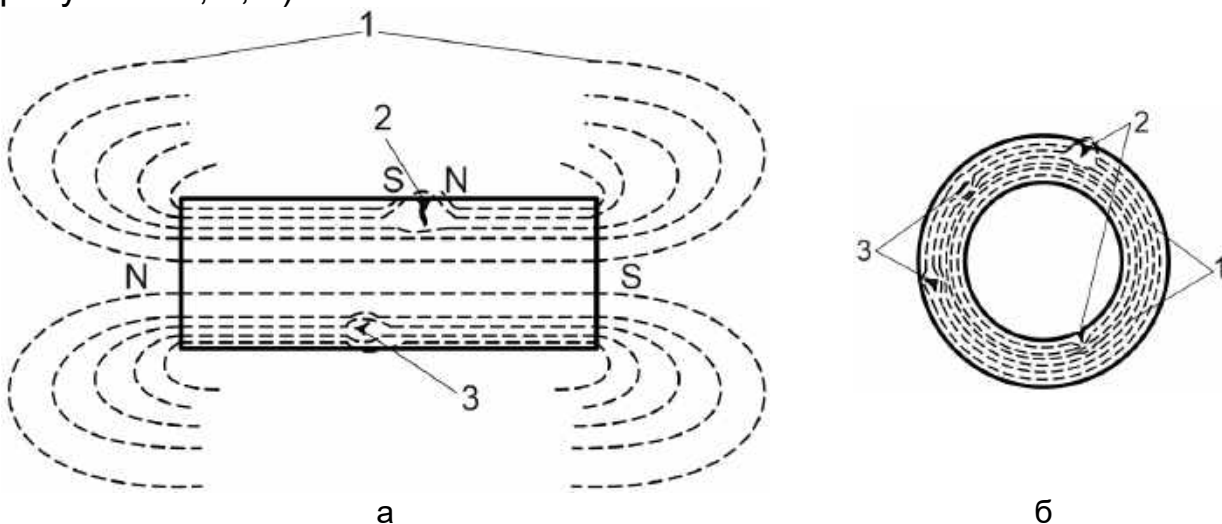


Рисунок 3.1 – Вплив дефектів на потік флюсу в намагніченому кільці:  
1 – лінії потоку; 2 – тріщина; 3 – глибокий дефект

У цій лабораторній роботі магнітопорошковий контроль продемонстровано на прикладі болта кріплення рами головного шасі вертольота Мі-8.

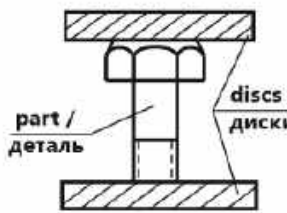
Операційна карта лабораторної перевірки										№					
Вид робіт		Магнітний контроль болтів редукторної рами						Шифр							
Операція №		Найменування деталі		Номер деталі		Матеріал		Твердість		Кіл-сть		Розряд			
		Bolts / болти		8A-0800-08 8A-0800-02		18X2H4BA 30XГСА		120±10 кг/мм² 110±10 кг/мм²		14 12					
Sketch / ескіз			№	Зміст перевірки				Технічні умови та режим перевірки		Інструмент					
 <p>Sketch / ескіз №9</p>			1	Намагнітити болт, пропустивши струм через деталь для виявлення поздовжніх тріщин. Magnetize the bolt by applying current to the part to detect longitudinal cracks.				I = 1000-1200A для/for 8A-0800-08  I = 650-700A для/for 8A-0800-02  тріщини не допускаються / cracks are not allowed		МЛА Метод контролю на залишкову намагніченість  Лупа 4 <sup>x</sup> -7 <sup>x</sup>					
			2	Зняти болт, полити суспензією і за 1-2 хв ретельно оглянути. Remove the bolt, pour over the suspension and inspect carefully after 1-2 minutes.											
			3	Повторити переходи 1-2 для решти болтів. Repeat steps 1-2 for other bolts.											
Розробник		Петренко		Аркуш		1		Нач. відділу							
Замісник				Арк-ів		2									
Аркуш		№ докум.		Підпис		Дата		Аркуш		№ докум.		Підпис		Дата	
								Прізвище		Підпис		Дата			

Рисунок 3.2 – Інструкції з магнітопорошкового контролю кріпильного болта циркулярним методом

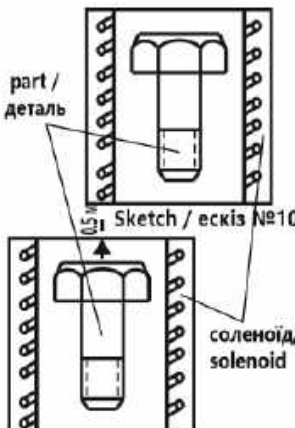
Операційна карта лабораторної перевірки										№					
Вид робіт		Магнітний контроль болтів редукторної рами						Шифр							
Операція №		Найменування деталі		Номер деталі		Матеріал		Твердість		Кіл-сть		Розряд			
		Bolts / болти		8A-0800-08 8A-0800-02		18X2H4BA 30XГСА		120±10 кг/мм² 110±10 кг/мм²		14 12					
Sketch / ескіз			№	Зміст перевірки				Технічні умови та режим перевірки		Інструмент					
 <p>Sketch / ескіз №10</p> <p>Sketch / ескіз №11</p>			4	Намагнітити болт у соленоїді для виявлення тріщин. Magnetize the bolt in the solenoid to identify cracks.				H=200 A/см (H=1590±10%)  тріщини не допускаються / cracks are not allowed		МЛА-3 Метод контролю на залишкову намагніченість Лупа 4 <sup>x</sup> -7 <sup>x</sup>  ФП-1М на III діапазоні.					
			5	Повторити переходи 4 та 2 для решти болтів. Repeat steps 4 and 2 for other bolts.											
			6	Розмагнітити болт із перевіркою приладом ФП-1М або тонкою сталеву пластину на підвищі. Demagnetize the bolt and check it with an ФП-1М device or a thin steel suspended plate.											
			7	Оформити техдокументацію та відправити комплект рами на ремонт. Complete technical documentation and send the frame kit for repair.											
Розробник		Петренко		Аркуш		2		Нач. відділу							
Зам. відділу		Войтенко		Арк-ів		2		Н. контроль		Зубко					
Аркуш		№ докум.		Підпис		Дата		Аркуш		№ докум.		Підпис		Дата	
								Прізвище		Підпис		Дата			

Рисунок 3.3 – Інструкції з магнітопорошкового контролю кріпильного болта поздовжнім методом

Неруйнівний контроль деталей ЛА проводиться згідно з інструкціями розробника літака. У цій інструкції міститься вся інформація до вказаних деталей, це стосується не тільки неруйнівного контролю деталей корпусу головної передачі, а й розбирання, чищення, усунення несправностей, фарбування тощо. На рисунках 3.2 і 3.3 вказано ескізи, методику випробувань, параметри машини та необхідні інструменти для магнітопорошкового контролю.

Важливо, щоб деталі, що підлягають перевірці, були очищені від фарби та бруду. Зазвичай очищенням займається не фахівець із неруйнівного контролю, а механік, який ремонтує саме цей комплект деталей, або маляр.

Для намагнічування деталі використовується спеціальна магнітопорошкова машина (або дефектоскоп) (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – UNIMAG 2100 AC/DC

Спочатку необхідно ввести у дефектоскоп усі параметри, зазначені в інструкції (рисунок 3.5).

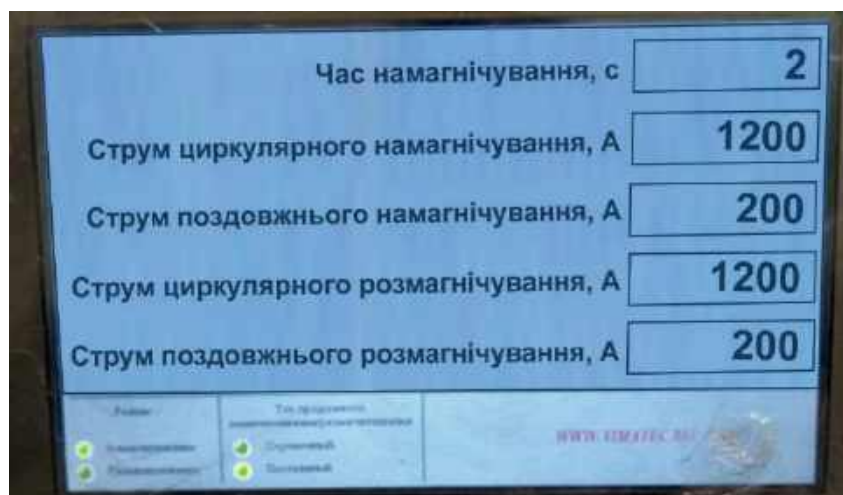


Рисунок 3.5 – Параметри для введення в дефектоскоп

Потім деталь слід помістити в соленоїд у тому положенні, яке вказано в інструкції. На рисунку 3.6 положення болта відповідає ескізу на рисунку 3.3.



Рисунок 3.6 – Розташування болта в соленоїді машини

Після цього слід натиснути кнопку "Пуск" на машині – почнеться намагнічування і триватиме 2 секунди (це було задано на попередньому кроці (див. рисунок 3.5)).

Потім деталь слід покласти на місце для контролю – у цьому випадку це місце знаходиться на верстаті. Важливо перевірити, чи деталь намагнічена – для цього використовується індикатор магнітного поля (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Ступінь намагнічування деталі

Коли достеменно відомо, що деталь намагнічена, її слід повністю покрити суспензією магнітних частинок (рисунок 3.8). Суспензія – не єдина форма частинок, яку можна наносити на деталь – магнітні частинки також існують у вигляді сухого або вологого порошку.



Рисунок 3.8 – Процес нанесення суспензії

Перевірка проводиться в темному приміщенні під ультрафіолетовим світлом. Під час огляду використовують спеціальну ультрафіолетову лампу або ліхтарик (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Ультрафіолетовий ліхтарик LABINO

Деталь слід уважно оглянути у пошуках дефектів (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Кріпильний болт, покритий магнітними частинками (жовтий) під ультрафіолетом

Дефекти на деталі виглядають як скупчення яскраво-жовтих магнітних частинок, що сильно виділяються на загальному фоні (рисунок 3.11).

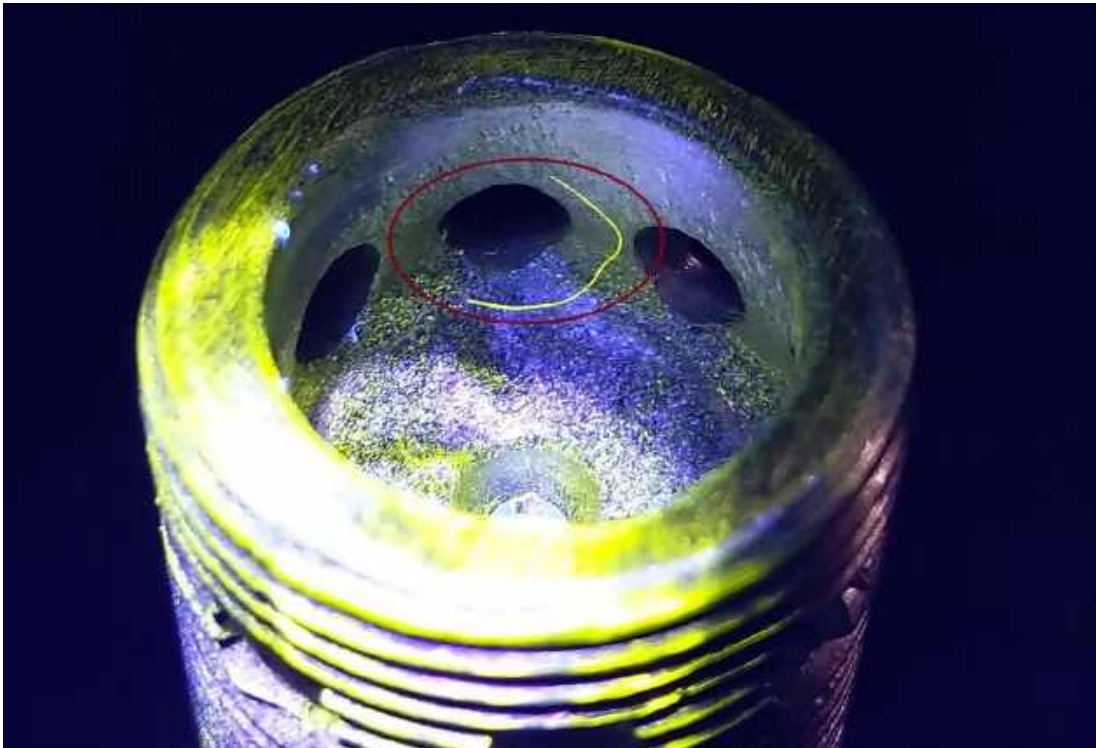


Рисунок 3.11 – Тріщина в нижній частині болта

Виявити такі дефекти неозброєним оком практично (у деяких випадках – повністю) неможливо (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Те саме місце під видимим світлом

На рисунках 3.13 та 3.14 показано інші приклади тріщин, виявлені при магнітопорошкових дослідженнях.



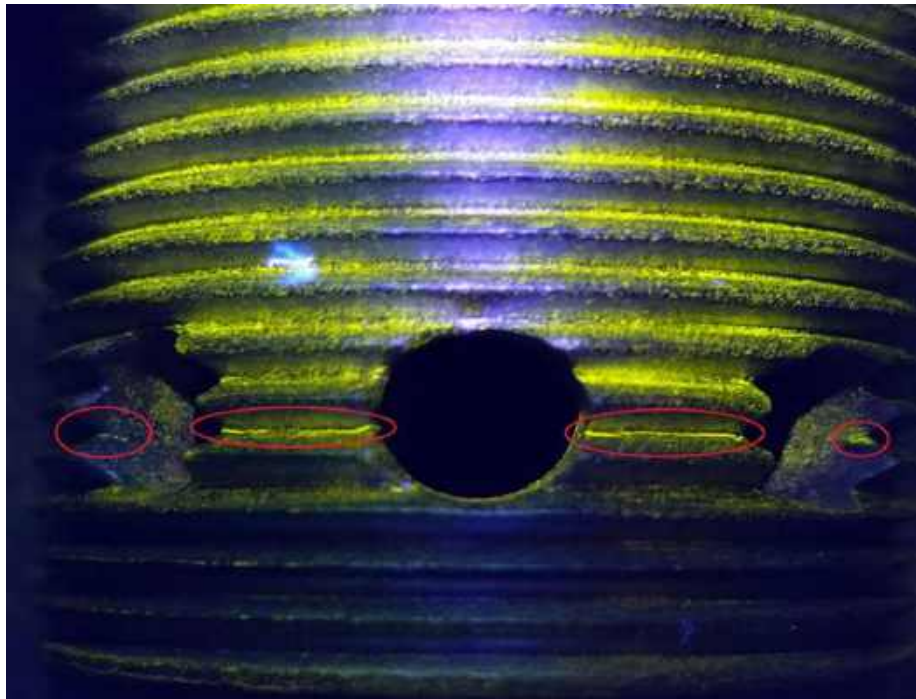


Рисунок 3.13 – Тріщини між витками різьби

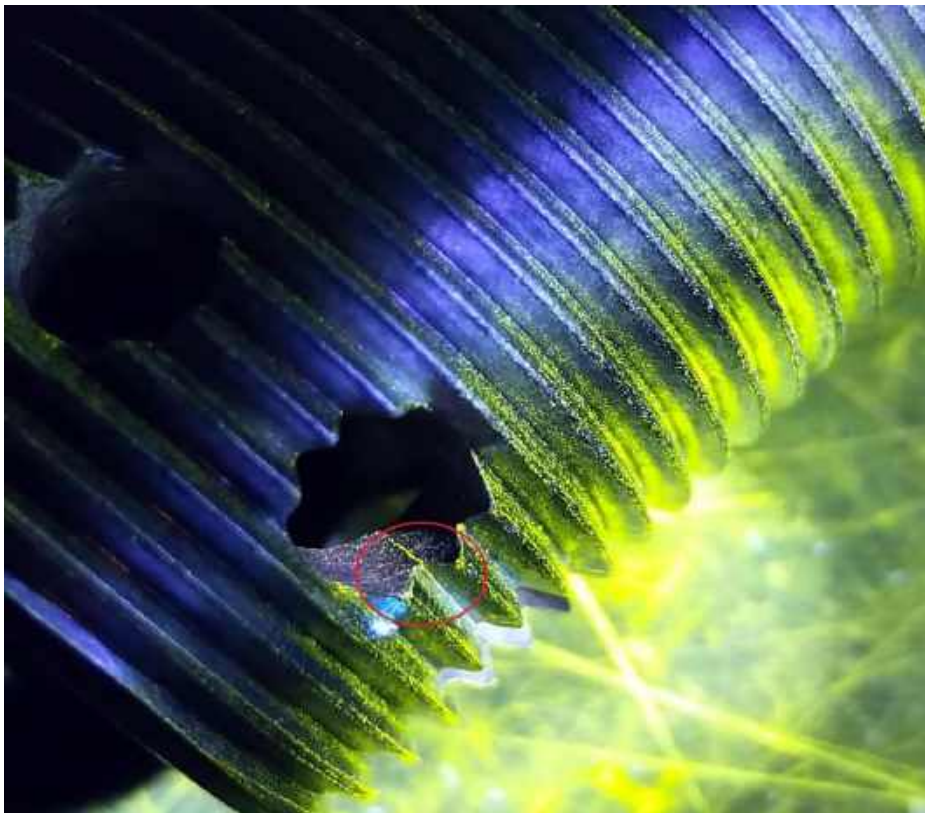


Рисунок 3.14 – Тріщина на стінці отвору для контровки

За наявності дефектів (і в деяких інших випадках) видається акт неруйнівного контролю. Цей звіт містить інформацію про номер деталі, тип вертольота, метод проведення перевірки та ін. До звіту також слід додати фото дефектів. Звіт неруйнівного контролю магнітопорошкових випробувань кріпильного болта рами несучого гвинта наведено нижче:

Лабораторія НК NDT Laboratory	Протокол за результатами НК NDT Report <b>№ 54/2022 (COPY 1)</b>	Дата / Date <b>16 / 09 / 2022</b>
----------------------------------	--	--------------------------------------

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer	<b>Components Repair Subdivision</b>
--	--------------------------------------

Тип ВС / A/C Type	<b>Mi-8MTV-1</b>	Пер. № ВС / A/C reg. #	-	Сер. № ВС / A/C S/N	<b>165247</b>
Компонент / Component	<b>Main gear frame</b>	P/N	<b>140-0800-00</b>	S/N	<b>A-85601</b>

Документ-підстава для проведення НК / Basis for carrying out the NDT:	<b>MR Ми-8-ВД-4-/85-97-124</b>
--	--------------------------------

Найменування об'єкта контролю / Object of inspection	<b>Main gear frame mounting bolt</b>				
P/N	<b>8A-0800-08</b>	S/N	-	Кіл-ть / QTY	<b>2</b>

Метод НК / Method of testing (*)	ET	MT	<b>x</b>	PT	VT	RT	ST	M
-------------------------------------	----	----	----------	----	----	----	----	---

(\*) Testing methods interpretation:

ET – Eddy-current testing;

MT – Magnetic particle testing;

PT – Penetrant (fluorescent) testing;

VT – Visual testing;

RT – Radiographic testing;

ST – Springs testing;

M – Measurements.

НК проведені згідно з нормативного докум. / NDT is performed based on the normative document:	<b>Technology. Helicopter of type Mil-8, Mil-8MT(V). Main transmission rotor frame type 8A- 0800-00 with mounting brackets types 8A-1500-001, -002, -003</b>		Рев. Rev.	-
Обладнання / Equipment:	<b>UNIMAG 2100 AC/DC</b>	Зразок / Specimen:	<b>WS-01-87</b>	
Датчик / індикатор / Probe / indicator	<b>Fluorescent ink Lumor J</b>			
Дефект / Defect:	<b>x</b>	виявлено / detected	не виявлено / not detected	
Опис дефекту (якщо його виявлено) / A detailed description of the defect (if detected):				
<b>Cracks in threads and walls of lock holes</b>				
<i>All work covered by this NDT Report are performed i.a.w. international NDT standards</i>				

Фото додається / Pictures are attached

YES

NO

Кількість сторінок, що додаються /  
Number of pages attached

**3**

Виконавець /  
NDT Specialist:

**3**

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Начальник лабораторії НК /  
Head of NDT laboratory:

(або відповідальний спеціаліст 3 рівня /  
or responsible level 3)

Головний інженер /  
Chief Engineer

**3**

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Підпис / Signature

Прізвище / name

Протокол за результатами НК отримано / NDT Report received by:

Ділянка чи замовник / Subdivision or customer

**Head of Components Repair Subdivision**

Посада / Position

П.І.П. / Name

Підпис / Signature

Дата / Date

The Copy № 1 of the NDT Report is submitted to a customer or subdivision to include in overhaul work package.  
The Copy № 2 of the NDT Report is stored in the NDT Laboratory.

За відсутності дефектів деталь слід розмагнітити: поставити в соленоїд, перевести машину в режим розмагнічування і натиснути кнопку «Пуск». Після цього перевірити наявність магнітного поля деталі магнітометром (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Положення стрілки приладу біля розмагніченої деталі

Бонусний приклад дефектів, виявлених за допомогою магнітопорошкового контролю, показано на рисунках 3.16, 3.17



Рисунок 3.16 – Циліндрична полірована поверхня болта, яка має практично ідеальний вигляд при видимому світлі

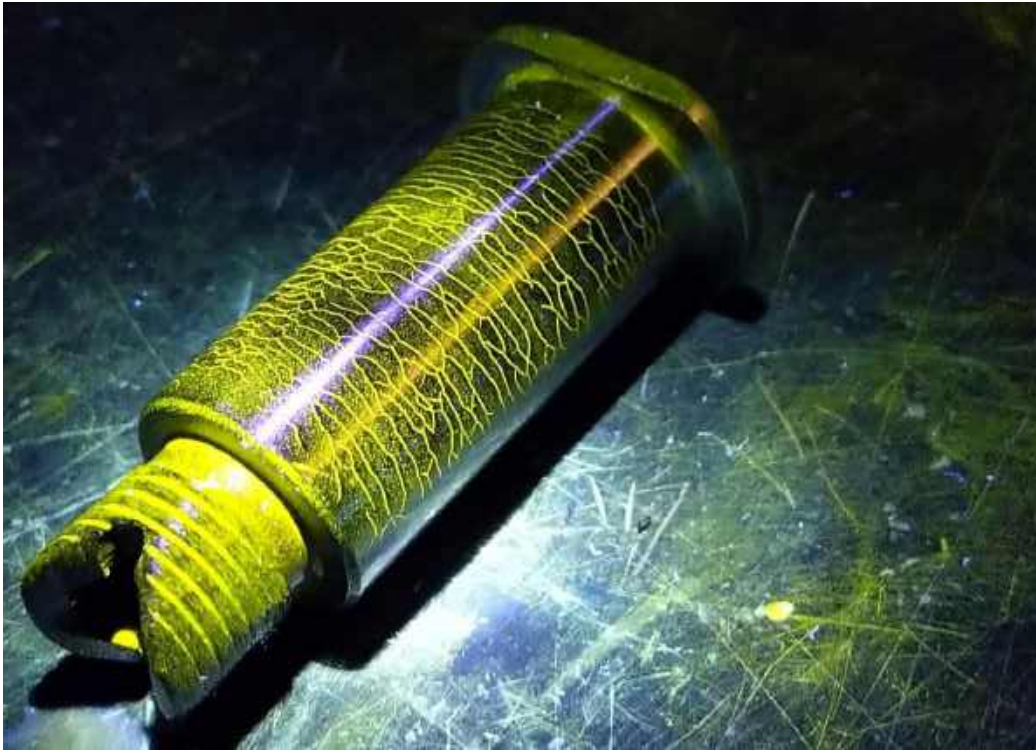


Рисунок 3.17 – Виявлення тріщин, що утворилися під час шліфування, за допомогою магнітопорошкового тестування

### **Контрольні запитання**

1. Які дефекти можна виявляти магнітопорошковим методом контролю?
2. Якими документами керується фахівець при проведенні магнітопорошкового контролю?
3. Яка процедура підготовки деталей до перевірки?
4. Яка процедура перевірки підготовленої деталі?
5. Яка додаткова процедура має бути проведена для деталей, на яких не виявлено дефектів?

## Лабораторна робота № 4

### ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПОВЕРХНІ НЕПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ КАПІЛЯРНИМ ТЕСТУВАННЯМ

#### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з порядком виявлення поверхневих порушень цілісності в непористих матеріалах за допомогою капілярного тестування.
2. Навчитися процедурі проведення капілярного тестування та виконання вибраковування деталей.

#### **Теоретичні відомості**

Капілярне тестування використовується для перевірки дефектів поверхні в усіх непористих матеріалах, таких як метали, пластмаси та кераміка. Воно використовується для виявлення дефектів поверхні в литих, кованих і зварних деталях, таких як мікротріщини, поверхнева пористість, течі в нових продуктах і втомні тріщини на компонентах, що знаходяться в експлуатації. Під час тестування пенетрант наноситься на поверхню виробу на певний час, потім надлишок пенетранту видаляється з поверхні. Далі поверхню висушують та наносять на неї проявник. Пенетрант, що залишився в розривах, поглинається проявником, який укаже на наявність, місце розташування, розмір і характер розриву. Процес проілюстровано на рисунку 4.1.

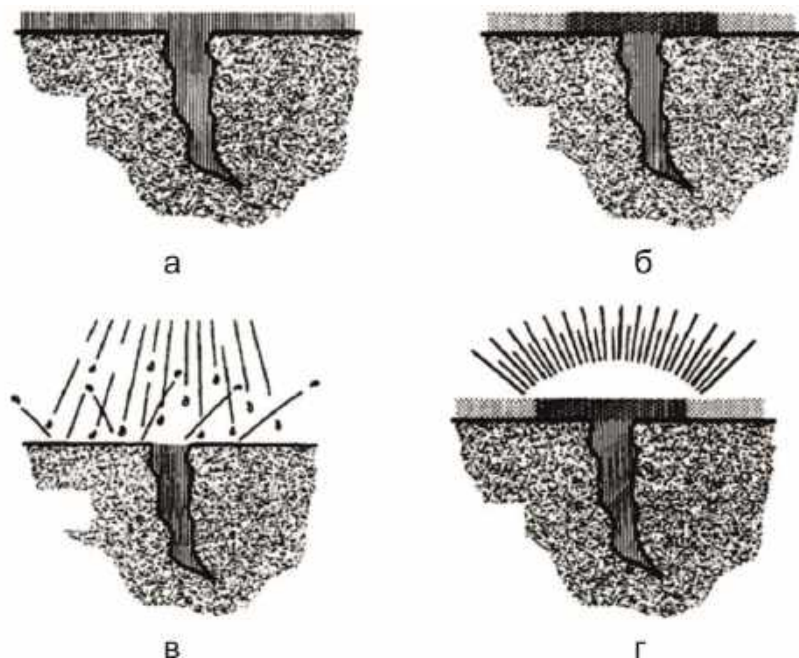


Рисунок 4.1 – Чотири етапи процесу капілярного контролю:

- а – нанесення пенетранту та його просочування в розриви;
- б – видалення надлишків пенетранту;
- в – нанесення проявника;
- г – перевірка на наявність дефектів

У цій лабораторній роботі капілярний метод контроль демонструється на прикладі кронштейна кріплення паливного бака вертольота Мі-8.

У такому випадку дефектоскопія використовується для підтвердження дефекту, виявленого візуально. Фахівець із усунення несправностей, який виявив дефект, не був упевнений, тріщина це чи просто подряпина, що з'явилася під час знімання паливного бака. Тому кронштейн, що знаходився на центральній частині фюзеляжу вертольота, було демонтовано та доставлено до лабораторії неруйнівного контролю.

Кронштейн та ймовірний дефект показано на рисунках 4.2 та 4.3.



Рисунок 4.2 – Кронштейн кріплення паливного бака



Рисунок 4.3 – Область з імовірним дефектом

Спочатку досліджувану поверхню слід очистити від жирів та будь-яких інших забруднень – це необхідно для запобігання хибним показанням і виявленню прихованих неполадок при впливі пенетранту. На поверхні не повинно бути жодних матеріалів, таких як гальванічне покриття чи оксидні покриття. Тверді забруднення слід видаляти струминним очищенням, хімічним зануренням або іншими прийнятними методами. Забруднення може статися через наявність мастил, захисних масел, захисних фарб та інше. Для їх видалення різними компаніями розроблено спеціальні розчинники. Забруднення неорганічними продуктами корозії, окалинами термообробки, тугоплавкими оксидами, що утворюються в процесі експлуатації і т. п., зручно видаляти абразивно-струминним очищенням скляними кульками у поєднанні з хімічним очищенням.

По-друге, досліджувана поверхня має бути висушена. Якщо з будь-якої причини перегородки заповнені рідиною, вони перешкоджатимуть проникненню пенетранту, тому сушіння є важливою операцією. Слід розуміти, що хоча поверхня може здатися сухою, розриви все одно можуть бути заповнені рідиною. Важливо також знати, що неправильне сушіння може бути гірше, ніж відсутність очищення, оскільки розчинник, що залишився, також може стати бар'єром для проникнення пенетранту. Якщо рідина, що проникає, потрапить у сепаратор, вона буде розведена розчинником, і це зробить оброблення менш ефективним.

Після очищення та сушіння кронштейн поміщався в контейнер, де проводився огляд (рисунок 4.4). У цьому випадку до контролю готувалась лише досліджувана поверхня.



Рисунок 4.4 – Очищений та висушений кронштейн кріплення паливного бака в оглядовій зоні

Коли деталь перебуває у зоні контролю, слід нанести пенетрант. Існують різні методи нанесення пенетранту: це можна зробити за допомогою пензля, розпиленням або зануренням деталі у ванну з пенетрантом. У цій лабораторній роботі досліджувана поверхня покривалася розпорошенням пенетранту (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Кронштейн паливного бака, покритий пенетрантом

Після цього пенетрант протягом певного часу проникає в тріщини. Час перебування залежить від температури, типу пенетранту, характеру тріщин та матеріалу випробуваного зразка; зазвичай він варіюється від 5 до 30 хвилин. В окремих випадках може становити до 1 години.

Під час перевірки кронштейна кріплення паливного бака час впливу становив 15 хвилин. Час впливу вказується в ремонтній документації, що надається розробником літака, а також в специфікації пенетранту. Якщо час у цих джерелах різниться, то за основу слід взяти найтриваліший час.

Після очікування необхідного часу надлишки пенетранту на поверхні слід видалити, щоб домогтися контрастності поверхні і запобігти хибним показанням. Відповідний засіб видалення зазвичай рекомендує виробник пенетранту. Деякі пенетранти змиваються водою, тоді як інші потребують застосування емульгатора, перш ніж їх можна буде видалити водою.

Метод видалення – використання губки або водного спрею. Існують спеціальні засоби для видалення пенетрантів, які являють собою розчинники. Найголовніше, щоб пенетрант не вимився із тріщин.

У цій лабораторній роботі пенетрант був видалений за допомогою засобу для видалення пенетранту, рекомендованого виробником пенетранту.



Після цього поверхню слід ще раз висушити. Це можна зробити сухою ганчіркою або повітродувкою. Сушка зазвичай необхідна для підготовки поверхні до нанесення порошкового проявника, який може згуститися у вологих місцях. Це також зменшує негативний ефект недостатнього видалення слідів пенетранту. І тут треба уникати надмірностей. Пенетрантна рідина, що залишилася в тріщинах, не повинна висихати, а це може статися, якщо для сушіння використовується гаряче повітря.

Очищений та висушений кронштейн кріплення паливного бака показано на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Кронштейн паливного бака після видалення пенетранту та висихання

Коли поверхня повністю висохне, слід нанести проявник. Проявники зазвичай бувають двох типів: сухі та вологі. Сухий проявник є сухим порошкоподібним матеріалом світлого кольору. Його можна наносити шляхом занурення деталі в резервуар з порошком, або шляхом нанесення пензлем (зазвичай, це небажаний метод), або шляхом видування порошку на поверхню. Мокрий проявник складається з порошкоподібного матеріалу, суспендованого у відповідній рідині, такі як вода або леткий розчинник.

Проявники мають бути такими, щоб вони забезпечували біле покриття, що контрастує з кольоровим пенетрантом барвника, та витягували пенетрант із тріщин на поверхню плівки проявника, виявляючи таким чином дефекти.

При перевірці кронштейна кріплення паливного бака використовувався рекомендований виробником пенетранту проявник на основі розчинника. Такі проявники зазвичай використовують із видимими пенетрантами. Кронштейн, покритий проявником, показано на рисунку 4.7 (покрита лише контрольована поверхня).



Рисунок 4.7 – Область кронштейна кріплення паливного бака, покрита білим проявником

Індикація у проявнику стала видимою через певний час (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Проявлення тріщини

Оскільки всі методи капілярного контролю ґрунтуються на тому, що інспектор аналізує сліди, то освітлення, яке надається для цього візуального огляду, є надзвичайно важливим. Для досягнення найкращих результатів перевірку флуоресцентних показань слід проводити у затемненому місці з використанням ультрафіолетового світла. Для інтерпретації показань дуже важливо спостерігати сліди у момент їх появи. Як тільки дефекти проявились, показання можуть перейти у великі плями залежно від розміру і глибини, і на цьому етапі важко отримати характерну інформацію про дефект.

Ступінь, в якій спостереження показань, що розвиваються, може бути реалізовано на практиці, багато в чому залежить від розміру і складності досліджуваної поверхні, а також від кількості тестованих компонентів. Тріщина зазвичай виявляється у вигляді безперервної лінії пенетранту. Розрив на поверхні вилівка також має вигляд безперервної лінії, зазвичай відносно вузької. Притирання під час кування також може призвести до появи безперервної лінії капілярної індикації. Закруглені області пенетрантної індикації свідчать про газові отвори або точкові отвори у вилівках.

Глибокі кратерні тріщини у зварних швах часто виявляються у вигляді закруглених ділянок. Пенетрантні сліди у вигляді маленьких точок виникають у результаті пористого стану. Вони можуть позначати невеликі отвори або надмірно великі зерна у вилівках або можуть бути породжені усадковою порожниною. Іноді велика площа має розмитий вигляд. При використанні флуоресцентних пенетрантів вся поверхня може слабко світитись. При використанні пенетрантів із барвником фон може бути не білим, а рожевим. Цей дифузний стан може бути результатом дуже дрібної та великої пористості, такої як мікроусадка магнію. На глибину дефектів вказують насиченість кольору та швидкість витікання. Час, необхідний для появи індикації, обернено пропорційний об'єму несучільності.

Під час огляду кронштейна кріплення паливного бака візуально виявлений дефект виявився не подряпиною, а тріщиною. Якби це була подряпина, пенетрант зник би при видаленні, оскільки тріщина не є глибоким дефектом. Відразу після нанесення проявника пенетрант почав просочуватися, що свідчить про велику глибину дефекту. Було підготовлено звіт неруйнівного контролю за результатами капілярного контролю кронштейна кріплення паливного бака, який наведено нижче:

Лабораторія НК NDT Laboratory	<b>Протокол за результатами НК</b> NDT Report <b>№ 38/2021 (COPY 1)</b>	Дата / Date <b>16 / 06 / 2021</b>
----------------------------------	---	--------------------------------------

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer	<b>Airframe Repair Subdivision</b>
--	------------------------------------

Тип ВС / A/C Type	<b>Mi-8V-5</b>	Рег. № ВС / A/C reg. #	-	Сер. № ВС / A/C S/N	<b>M165</b>
Компонент / Component	<b>Fuselage central section</b>	P/N	<b>8MTB5.0300.000</b>	S/N	-

Документ-підстава для проведення НК / Basis for carrying out the NDT:	<b>MR Ми-8-ВД-4/38-25-456</b>
--	-------------------------------

Найменування об'єкта контролю / Object of inspection	<b>Fuel tank mounting bracket</b>				
P/N	<b>8MT.6120.550.002</b>	S/N	-	Кіл-ть / QTY	<b>1</b>

Метод НК / Method of testing (*)	ET	MT	PT	x	VT	RT	ST	M
-------------------------------------	----	----	----	---	----	----	----	---

(\*) Testing methods interpretation:

ET – Eddy-current testing; PT – Penetrant (fluorescent) testing; RT – Radiographic testing; M – Measurements.  
MT – Magnetic particle testing; VT – Visual testing; ST – Springs testing;

НК проведено відповідно до норм-ного докум. / NDT is performed based on the normative document:	<b>GOST R ISO 3452-1-2011</b>	Рев. Rev.	-
Обладнання / Equipment:	-	Зразок / Specimen:	<b>PS-1-258</b>
Датчик / індикатор / Probe / indicator	<b>Penetrant: Checkmor 240 Developer: Checkmor LD7 Remover: Checkmor S72</b>		
Дефект / Defect:	x	виявлено / detected	не виявлено / not detected
Опис дефекту (якщо його виявлено) / A detailed description of the defect (if detected):			
<b>Crack in the radius</b>			
<i>All work covered by this NDT Report are performed i.a.w. international NDT standards</i>			

Фото додаються / Pictures are attached YES  NO

Кількість сторінок, що додаються /  
Number of pages attached

Виконавець /  
NDT Specialist:  \_\_\_\_\_

рівень /  
lvl Підпис / Signature Прізвище / name

Начальник лабораторії НК /  
Head of NDT laboratory:  \_\_\_\_\_

рівень /  
lvl Підпис / Signature Прізвище / name

(або відповідальний спеціаліст 3 рівня /  
or responsible level 3)

Головний інженер /  
Chief Engineer \_\_\_\_\_

Підпис / Signature Прізвище / name

Протокол за результатами НК отримано / NDT Report received by:

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer

Head of Airframe Repair Subdivision \_\_\_\_\_ Посада / Position \_\_\_\_\_ П.І.П. / Name \_\_\_\_\_ Підпис / Signature \_\_\_\_\_ Дата / Date \_\_\_\_\_

The Copy № 1 of the NDT Report is submitted to a customer or subdivision to include in overhaul work package.  
The Copy № 2 of the NDT Report is stored in the NDT Laboratory.

Деякі додаткові фотографії капілярної перевірки наведено на рисунках 4.9 – 4.12.



Рисунок 4.9 – Корозія на лопатках вентилятора Мі-8



Рисунок 4.10 – Корозія на повітряному компресорі Мі-8



Рисунок 4.11 – Пори в матеріалі гасника вібрацій Мі-8



Рисунок 4.12 – Втомні тріщини в нагнітачі Мі-8

### **Контрольні запитання**

1. Для виявлення яких дефектів використовується капілярний метод контролю?

2. Які способи очищення застосовують при підготовці деталей для контролю капілярним методом?
3. Які особливості потрібно враховувати при сушінні деталі після очищення?
4. Які особливості нанесення та виявлення пенетранту?
5. Як має бути здійснений візуальний контроль при конкретному методі?
6. Дайте опис найбільш поширених показань/слідів для пенетрантів?

## Лабораторна робота № 5

### ВИХОРОСТРУМИНИЙ КОНТРОЛЬ ЦІЛОСНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ

#### **Мета роботи:**

1. Ознайомитися з принципом роботи вихороструминного методу контролю цілісності деталей за допомогою електромагнітної індукції.
2. Навчитися вибраковувати деталі за допомогою поданого неруйнівного методу контролю.

#### **Теоретичні відомості**

Вихороструминний контроль – один із багатьох методів електромагнітного контролю, що застосовуються в неруйнівному контролі, в якому використовується електромагнітна індукція для виявлення та визначення характеристик поверхневих і підповерхневих дефектів у матеріалах-провідниках. Змінний струм з відомою частотою подається на місце електричної котушки, що прилягає до контрольованого матеріалу. Цей струм буде створювати власне магнітне поле, відоме як поле збудження, та індукувати струми у металевій частині, відомі як вихрові струми, відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея. Ці вихрові струми створюватимуть власне магнітне поле, що протидіє полю збудження. Таким чином, результуюче поле зменшується, що призводить до зміни опору котушки.

На рисунку 5.1 показано, як змінний струм заданої частоти генерується в первинній або збуджувальній котушці.



Вигляд спереду

Вигляд збоку

Вигляд зверху

Рисунок 5.1 – Розташування обмоток та зразка, що випробовується, при вихороструминному контролі

У результаті створюється змінний магнітний потік. Це індукує змінний струм тієї ж частоти у вторинній обмотці. При введенні зразка змінний потік первинної обмотки індукує потік вихрових струмів, який призводить до виникнення змінного магнітного потоку в протилежному напрямку. В результаті струм у вторинній обмотці зменшується. Для цих умов зниження струму має бути однаковим для всіх однакових зразків, поміщених в те саме положення відносно обмотки. Будь-яка невідповідність у величині наведеного струму може вказувати на наявність дефекту, зміну розмірів або



зміну електропровідності або магнітної проникності випробуваного зразка, можливо, внаслідок зміни його фізичних або хімічних властивостей.

Основним компонентом вихорострумного обладнання є датчик, який буває кількох типів: оточуючого типу, внутрішнього типу або зовнішнього типу. Основні елементи котушок, які можуть бути присутніми в цих датчиках, можна розділити головним чином на три категорії залежно від методів вимірювання. В абсолютному методі первинна і вторинна котушки узгоджені так, що за відсутності випробуваного зразка напруга на них однакова за значенням і протилежна за знаком. Введення зразка призводить до зміни опору та вимірюваної напруги.

Метод порівняння полягає у використанні двох однакових котушок у складеному вигляді. Стандартний бездефектний зразок поміщають в один рулон, а випробуваний зразок – в інший. Вимірюються зміни, що виникають через відмінності у двох зразках. У методі автопорівняння дві різні частини однієї й тієї ж вибірки порівнюються одна з одною.

Існує велика різноманітність обладнання для вихорострумного контролю, але тут згадуються лише деякі з його поширених типів. Найпростіший – міст змінного струму. Міст стає несиметричним, коли датчик проходить над дефектом, оскільки його опір змінюється. Аналіз Форстера було застосовано для розроблення деяких універсальних інструментів, які можна використовувати для випробувань на провідність, дослідження відхилень розмірів та виявлення дефектів. Дві складові напруги на вторинній обмотці поділяються на фазі і подаються на пластини X і Y осцилографа. На екрані з'являється яскрава пляма, яка є точкою на графіку Форстера для аналізу опору. Рух цієї плями пов'язаний з різницею при вимірюванні, виявляє тріщини, вимірює провідність та визначає відхилення розмірів.

Вихорострумний контроль використовується для виявлення і вимірювання таких дефектів, як тріщини, пористість, бульбашки, включення, перекриття, усадки і м'які плями в різних зразках для випробувань суцільної циліндричної, порожнистої циліндричної або іншої складної форми. Також можна виявити корозію та розтріскування, спричинені корозією під напругою. Можна виміряти зміни електропровідності та проникності, які, у свою чергу, впливають на властивості матеріалу, такі як твердість, однорідність, ступінь термообробки, наявність внутрішньої напруги, зневуглецювання, дифузії, склад сплаву, наявність домішок і т. д. Вимір товщини може бути виконаний на металевих пластинах, фользі, листах, смугах, трубках і циліндрах. Зазвичай можна визначити товщину неметалевих покриттів на металах, таких як, наприклад, ізоляційні шари на кабелях; фарби, що не проводять струм; на деяких авіаційних виливках; анодних покриттях на поверхнях з алюмінієвих сплавів. Можна також визначити такі розміри, як діаметри циліндричних зразків. Матеріали можуть автоматично сортуватись у процесі виробництва. Метод можуть підлаштовувати до високошвидкісного

автоматизованого контролю трубок малого діаметра, наприклад тих, що використовуються в парогенераторах, теплообмінниках і як оболонки тепловиділяючих елементів ядерних реакторів. Визначаються такі характеристики паливних трубок, як внутрішній та зовнішній діаметри, ексцентриситет, товщина стінок і наявність дефектів. Також можливий огляд зварних труб малого діаметра. За допомогою датчиків оточуючого типу можна перевіряти труби великого діаметра. Аналогічним чином можна перевіряти довгі стрижні та дроти. При випробуванні трубок вихорострумний метод дає змогу також виявити міжкристалітну корозію на внутрішній поверхні.

У цій лабораторній роботі вихорострумні випробування продемонстровано на прикладі вентилятора двигунів вертольота Мі-8.

Неруйнівний контроль деталей ЛА проводиться згідно з інструкціями розробника ЛА. У такій інструкції міститься вся інформація, що стосується не тільки неруйнівного контролю деталей вентилятора, але і розбирання, чищення, усунення несправностей, фарбування та інше для вказаних деталей.

На рисунку 5.2 показано частини вентилятора, що піддаються випробуванню методом вихрових струмів.



Рисунок 5.2 – Деталі вентилятора, що випробовуються вихорострумним методом

Для контролю цих деталей використовувався дефектоскоп «Константа ВД-1» (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Дефектоскоп «Константа ВД-1» з набором датчиків для різних матеріалів

Дефектоскоп «Константа ВД-1» призначено для виявлення відкритих та підповерхневих дефектів у феромагнітних і неферомагнітних металах та сплавах.

На початку використання дефектоскопа до нього необхідно підключити відповідний датчик. Оскільки деталі вентилятора виготовлені з магнієвого сплаву, слід використовувати датчик ПФ-ОН-4-АІ, призначений для контролю алюмінієвих і магнієвих сплавів (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Датчик ПФ-ОН-4-АІ для алюмінієвих і магнієвих сплавів

Після цього дефектоскоп слід перевірити на працездатність за допомогою зразка з алюмінієвого або магнієвого сплаву (рисунок 5.5).

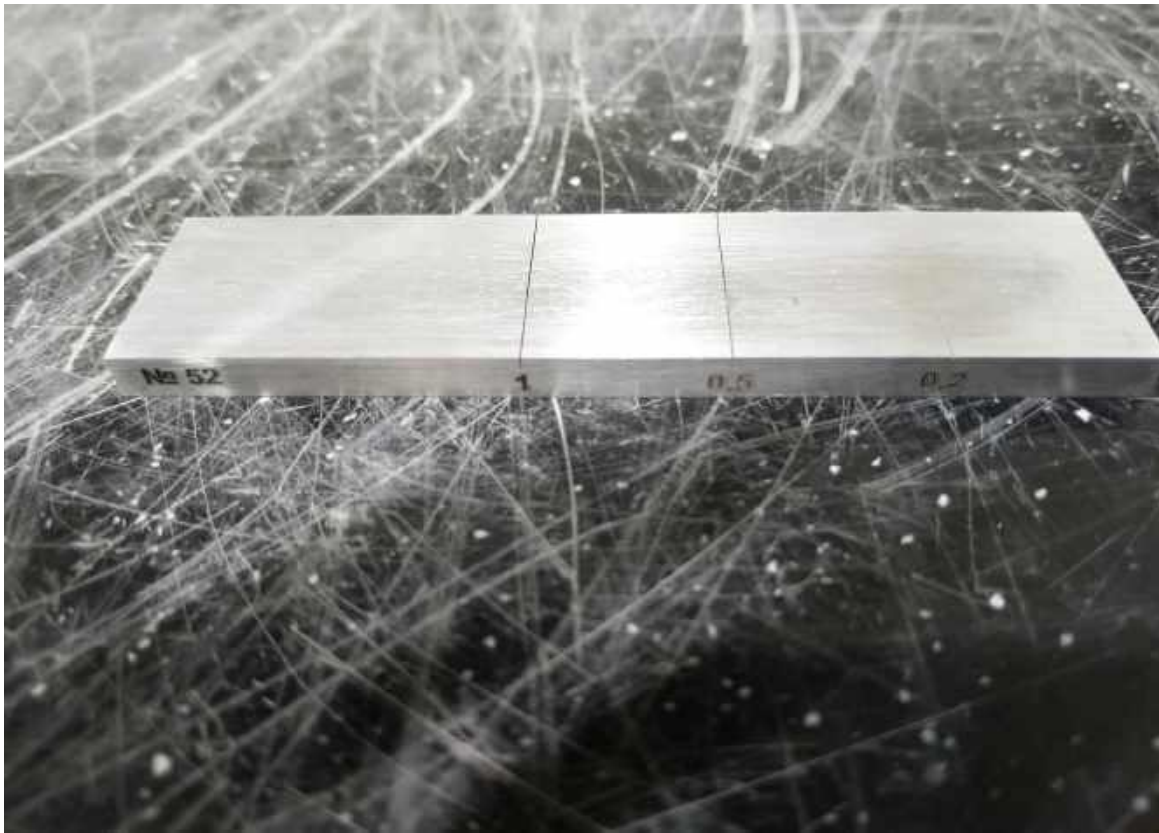


Рисунок 5.5 – Зразок зі штучно створеними тріщинами глибиною 1; 0,5 та 0,2 мм  
Дефектоскоп, перетворювач та зразок показано на рисунку 5.6.



Рисунок 5.6 – Дефектоскоп, зразок та датчик

Процес перевірки полягає у прикладанні датчика до бездефектної поверхні зразка та натисканні кнопки «0» на дефектоскопі. Тепер пристрій

вважає цю поверхню зразком. Потім датчик слід піднести до найближчого штучного дефекту на зразку і при проходженні дефекту дефектоскоп має видати звук і увімкнути червоний діод на датчику. При цьому на дисплеї дефектоскопа має відобразитися глибина дефекту в мікронах. Процес перевірки зображено на рисунку 5.7.



Рисунок 5.7 – Перевірка працездатності дефектоскопа

Коли стане зрозуміло, що дефектоскоп справний і готовий до використання, можна починати вихорострумний контроль деталей вентилятора. Перед проведенням тестувань необхідно налаштувати дефектоскоп на поверхню, що перевіряється, помістивши датчик на поверхню і натиснувши кнопку «0», щоб взяти цю поверхню за еталон. Також необхідно встановити поріг, який визначає допустимий розмір дефекту, який може пропустити дефектоскоп – цей параметр має бути вказаний в інструкції для перевірки саме цих деталей. Після проведеної підготовки, якщо дефектоскоп виявить відхилення від налаштованої поверхні, розміри яких виходять за поріг, він видасть звуковий сигнал, а діод на датчику стане червоним.

Зони деталей, що перевіряються, і методика випробувань зазначені в інструкції авіаконструктора. Суть процесу вихорострумного контролю полягає в розміщенні датчика на поверхні та переміщенні його шляхом, зазначеним в інструкції. Якщо дефектоскоп виявить дефект, цей дефект слід або усунути механічно, або забракувати всю деталь – прийняття рішення залежить від вказівок авіаконструктора.

Початок вихорострумного процесу показано на рисунку 5.8. Шлях, яким слід переміщати датчик (згідно з інструкцією), показано на прикладі однієї конкретної поверхні (рисунок 5.9).



Рисунок 5.8 – Початок вихорострумінного тестування вентиляторного колеса

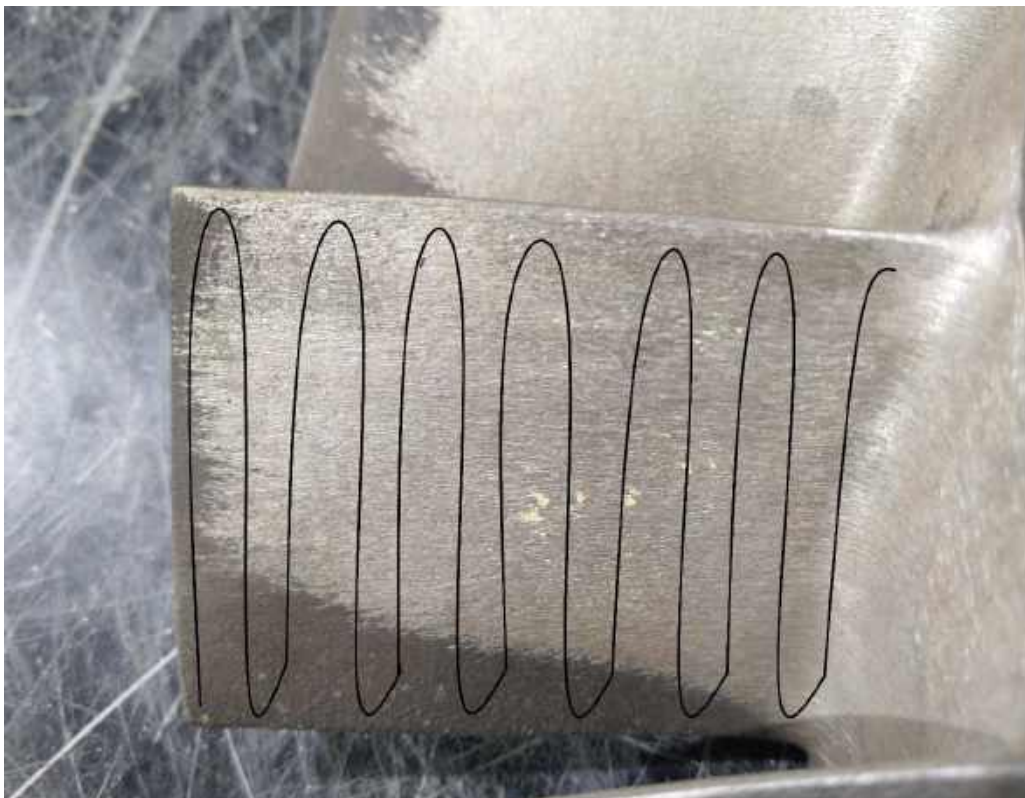


Рисунок 5.9 – Траєкторія датчика

Під час випробувань на лопаті колеса вентилятора були виявлені дефекти глибиною близько 0,7 мм (рисунок 5.10).



Рисунок 5.10 – Дефект глибиною 689 мкм, виявлений при вихороструминному контролі

Ці дефекти важко виявити неозброєним оком (рисунок 5.11), тому для підтвердження наявності дефектів та кращої їх візуалізації далі використали ще й капілярний контроль (рисунок 5.12). Крім того, капілярний контроль дає змогу зрозуміти, чи є ці дефекти відкритими чи прихованими, оскільки цей метод може виявити лише перші.



Рисунок 5.11 – Місце на лопаті, де виявлено дефекти



Рисунок 5.12 – Один із етапів капілярного контролю нагнітального колеса

Як видно з рисунка 5.13, на поверхні лопаті колеса вентилятора є безліч корозійних ділянок.



Рисунок 5.13 – Результати капілярного контролю

Було підготовлено звіт з неруйнівного контролю за результатами вихорострумінного (і капілярного) тестування робочого колеса вентилятора. Звіт з неруйнівного контролю наведено нижче:



Лабораторія НК NDT Laboratory	Протокол за результатами НК NDT Report <b>№ 74/2022 (COPY 1)</b>	Дата / Date <b>10 / 11 / 2022</b>
----------------------------------	--	--------------------------------------

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer	<b>Components Repair Subdivision</b>
--	--------------------------------------

Тип ВС / A/C Type	<b>Mi-8V-5</b>	Рег. № ВС / A/C reg. #	-	Сер. № ВС / A/C S/N	<b>468H976</b>
Компонент / Component	<b>Blower</b>	P/N	<b>8A-6311-00</b>	S/N	-

Документ-підстава для проведення НК / Basis for carrying out the NDT:	<b>Wheel</b>
--	--------------

Найменування об'єкта контролю / Object of inspection	<b>Main gear frame mounting bolt</b>				
P/N	<b>8A-6311-15</b>	S/N	-	Кіл-ть / QTY	<b>1</b>

Метод НК / Method of testing (*)	ET	<input checked="" type="checkbox"/>	MT		PT	<input checked="" type="checkbox"/>	VT		RT		ST		M	
-------------------------------------	----	-------------------------------------	----	--	----	-------------------------------------	----	--	----	--	----	--	---	--

(\*) Testing methods interpretation:

ET – Eddy-current testing;

MT – Magnetic particle testing;

PT – Penetrant (fluorescent) testing;

VT – Visual testing;

RT – Radiographic testing;

ST – Springs testing;

M – Measurements.

НК проведені згідно норм-ного докум. / NDT is performed based on the normative document:	<b>Technology. Helicopter type Mi-8. Repair of oil cooler fan 8A-6311-00</b>		Рев. Rev.	-
Обладнання / Equipment:	<b>Konstanta VD1</b>	Зразок / Specimen:	<b>52</b>	
Датчик / індикатор / Probe / indicator	<b>ПФ-ОН-4-АІ</b>			
Дефект / Defect:	<input checked="" type="checkbox"/> виявлено / detected	<input type="checkbox"/> не виявлено / not detected		
Опис дефекту (якщо його виявлено) / A detailed description of the defect (if detected):	<b>Corrosion with depth up to 689 μm on the blade</b>			
<i>All work covered by this NDT Report are performed i.a.w. international NDT standards</i>				

Фото додається / Pictures are attached

YES



NO



Кількість сторінок, що додаються /  
Number of pages attached

1

Виконавець /  
NDT Specialist:

3

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Начальник лабораторії НК /  
Head of NDT laboratory:  
(або відповідальний спеціаліст 3 рівня /  
or responsible level 3)  
Головний інженер /  
Chief Engineer

3

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Підпис / Signature

Прізвище / name

Протокол за результатами НК отримано / NDT Report received by:

Ділянка чи замовник / Subdivision or customer

**Head of Components Repair Subdivision**

Посада / Position

П.І.П. / Name

Підпис / Signature

Дата / Date

The Copy № 1 of the NDT Report is submitted to a customer or subdivision to include in overhaul work package.  
The Copy № 2 of the NDT Report is stored in the NDT Laboratory.

На рисунках 5.14 і 5.15 показано ще один приклад дефектів, виявлених при вихороструминному контролі вентилятора.



Рисунок 5.14 – Напрямний пристрій вентилятора

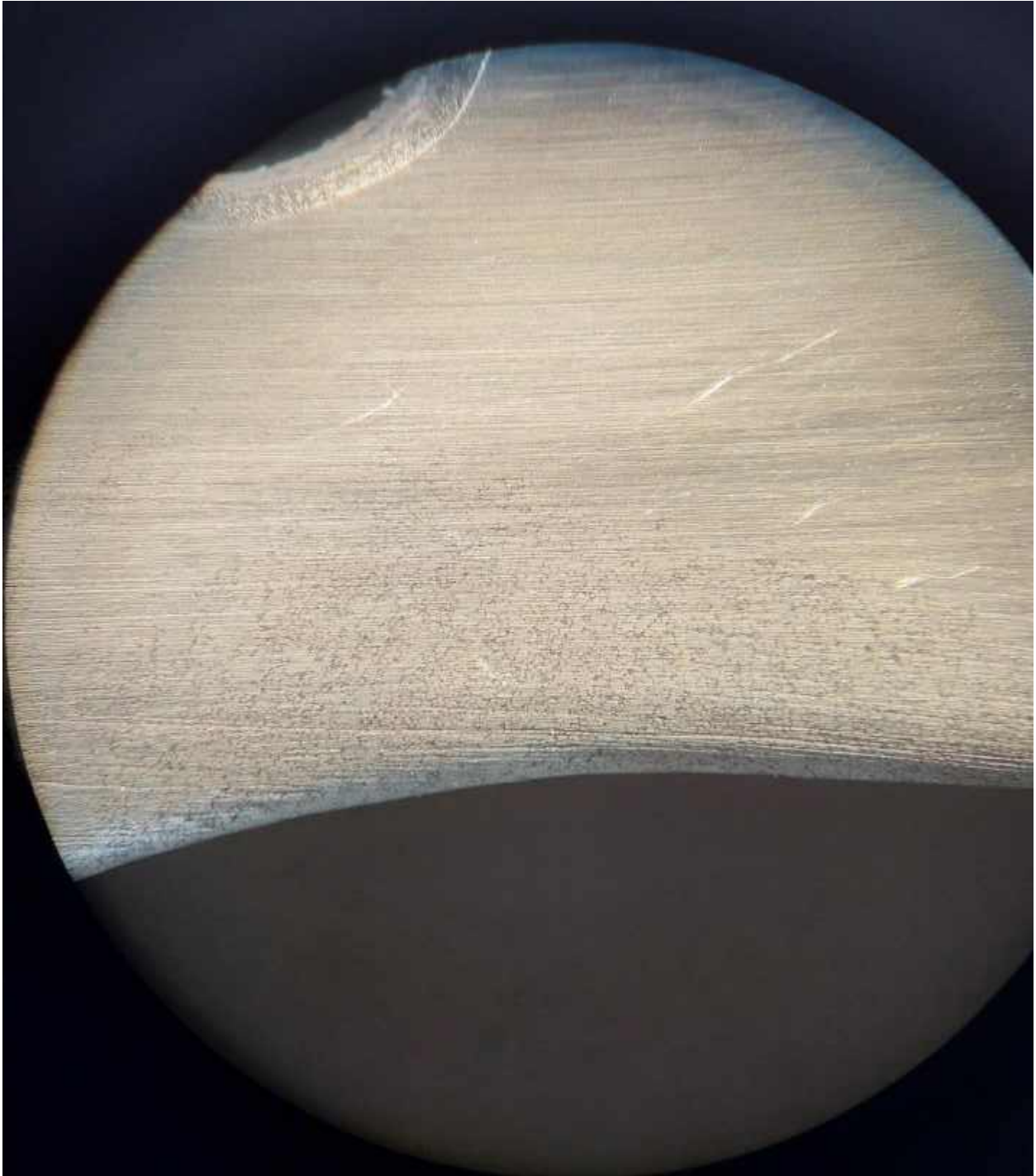


Рисунок 5.15 – Сітка тріщин на поверхні напрямного пристрою

### **Контрольні запитання**

1. Що таке вихорострумінний контроль?
2. Як працює обладнання типу «міст змінного струму»?
3. Для яких цілей можна застосовувати вихорострумінний контроль?
4. Як налаштовується датчик ПФ-ОН-4-АІ на роботу?
5. Опишіть процес тестування деталі вихорострумінним методом.
6. Що стає приводом для вибракування деталі?

## Лабораторна робота № 6

### 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.

#### **Теоретичні відомості**

У 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 спад амплітуди наскрізного сигналу, спричинений дефектом.

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

#### **Опис приладу**

Як приклад розглянемо прилад для проведення робіт – дефектоскоп марки УДЗ-103 (рисунок 6.1) з комплектом п'єзоелектричних перетворювачів (рисунок 6.2), 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. (рисунки 6.3, 6.4).



Рисунок 6.1 – Ультразвуковий дефектоскоп УДЗ-103



а



б

Рисунок 6.2 – П'єзоелектричні перетворювачі: а – перетворювачі товщиноміра ТУЗ; б – перетворювачі ультразвукового дефектоскопа



Рисунок 6.3 – Зразок таврового зварного з'єднання



Рисунок 6.4 – Зразок трубного зварного з'єднання

## **Правила безпечного виконання роботи і порядок проведення контролю**

Ультразвуковий контроль є досить безпечним методом, тому при виконанні 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 контрольованого 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. Появою ознаки дефекту також може бути наявність 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.

Появою ознаки дефекту за ДТМ і тіньовим методами може бути також наявність отворів, клейм і бруду на поверхні сканування ПЕП, порушення акустичного контакту, зміщення 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;
- резервуари 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. Переконатися, що на корпусі мережного адаптера загорівся зелений світлодіод.
4. Приєднати низьковольтний кабель від мережного адаптера до розніму «24 V» на комутаційній панелі блока електронного (БЕ) дефектоскопа.
5. Установити тумблер «ВКЛ ВНУТР / ВКЛ ЗОВНІШ» на комутаційній панелі дефектоскопа в положення «ВКЛ ВНУТР».

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

Перед початком роботи потрібно ввести шифр оператора, який дає змогу захистити інформацію в пам'яті дефектоскопа від несанкціонованих змінень або видалень, визначити оператора, який проводить контроль. Після цього можна починати 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. У чому полягає суть дзеркально-тіньового методу?



## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Белокур, И. П. Дефектоскопия и неразрушающий контроль [Текст] / И. П. Белокур. – Киев : Вища шк., 1990. – 208 с.
- Белокур, И. П. Дефектоскопия материалов и изделий [Текст] / И. П. Белокур, В. А. Коваленко. – Киев : Техніка, 1989. – 192 с.
- Запунный, А. И. Контроль герметичности конструкций [Текст] / А. И. Запунный, Л. С. Фельдман, В. Ф. Регаль.– Киев : Техніка, 1976. – 151 с.
- Кушнарченко, С. Г. Неразрушающие методы контроля и испытаний элементов летательных аппаратов [Текст] / С. Г. Кушнарченко. – Харьков : Харьков. авиац. ин-т, 1975.– 60 с.
- ASNT Industry Handbook. Aerospace Nondestructive Testing. Richard H. Bossi. – Columbus, ASNT, 2014. – 81 p.
- Introduction to Aerospace Engineering with a Flight Test Perspective. Stephen Corda. – Chichester, Wiley, 2017. – 903 p.
- Nondestructive Testing Handbook. Second Edition. Volume 10. Nondestructive Testing Overview. S. Ness, C. N. Sherlock. – USA, ASNT, 1996. – 600 p.
- Non-destructive Testing. A Guidebook for Industrial Management and Quality Control Personnel. – IAEA, Vienna, 1999. – 287 p.

## INTRODUCTION

Preparation of an aircraft or helicopter for flight tests, tests on the ground and in the air, delivery of the finished product to its customers is the last stage of the production process at an aircraft factory. The labor intensity of this stage is 10–20% of the total labor intensity of aircraft production.

This includes the following types of work:

1. Acceptance of the aircraft from the final assembly shop (FAS) and its transportation to the flight test station (FTS). At the same time, they perform a consistent external inspection of the aircraft in accordance with the instructions, check the completeness of the on-board equipment and add documentation. Then the aircraft is towed to the work stand of the LVS. Work stands are training areas, boxes or covered hangars with the necessary equipment.

2. Checking, testing and working out the on-board systems of the aircraft. All on-board equipment is checked for complex functioning and interaction with the help of diagnostic control and testing stations (CTS). Testing and control of on-board systems are carried out in advance according to prepared programs simulating operating conditions. In this process, the electronic radio communication systems of the aircraft and the Landing gear system are tested, the operation of the radar equipment is checked, the operation of the complex of aircraft control systems and the entire complex of hydrogas systems is monitored, as well as the readings of magnetic devices and radio compasses are monitored and corrected on a special deviation platform with a turning circle (possible deviations of the aircraft's course indicators from the true directions are recorded here).

3. Testing the engine on the ground and working out the fuel system of the aircraft. The aircraft is refueled and the tightness of the fuel system is checked (according to the instructions) after 12 hours of settling in the refueled state. Then perform a control draining of the fuel to check its level indicators and the critical fuel remaining indicator.

4. Preparation of the aircraft for flight tests. The pre-flight inspection is also performed consistently outside and inside the aircraft; refuel aircraft systems with fuel, compressed air, hydraulic fluid and oxygen; the emergency hatches and the ejection seat are checked. Before take-off, they check the operation of the engines, the serviceability of the radio communication.

5. Flight tests. Here they check: take-off and landing characteristics, climb rate, horizontal and vertical speeds, stability and controllability of the aircraft, flight range.

6. Post-flight training. It is conducted in order to eliminate failures and defects discovered during test flights. At the same time, the crew's comments and objective telemetry data (on the electromagnetic carrier of information about the flight parameters) are analyzed and the causes of system failures are identified. After eliminating the defects, the flight profile is repeated.

Then the aircraft is handed over to the customer after the handover certificate is issued.

In order to shorten the cycle of airfield maintenance of the aircraft, a **current-stand** form of work will be organized on the FTS. Modern objective means of diagnostics of on-board systems in the form of control and testing stations, as well as other means of mechanization and automation of control and testing operations are widely used on individual test stands of the aircraft. In order to shorten the entire cycle of work, the maximum possible parallel execution of work on individual tasks on the stand is implemented, as well as brigade fixation of performers for individual aircraft.

Rhythmic work in the airfield workshop is facilitated by an approved cycle schedule with a given periodicity of aircraft delivery.

Ensuring the necessary level of quality of the manufactured products is connected with the use of a modern approach in the organization of non-destructive testing at the enterprise. The organization of product quality control is a system of technical and administrative measures aimed at ensuring the regulatory level of quality, primarily due to the active influence of inspections on the technological process, as well as the independence of technical control bodies using modern methods of non-destructive testing (NDT).

These methods establish the level of quality (standards of defects). Without control, it is impossible to establish the level of product quality. Defects detected by NDT are usually found indirectly. The search for defects by studying changes in the physical and mechanical characteristics of materials is the physical basis of NDT. Most often, these methods are used to determine discontinuities in the material of semi-finished products and parts (cracks of various origins, shells, porosity, etc.). It should be taken into account that there are no universal NDTs, and their advantages lie in the possibility of control at various stages of production and operation, studying changes in the properties and structure of the material of products, as well as the occurrence of defects in them.

# 1 BASIC CONCEPTS AND CLASSIFICATION OF TESTS

## 1.1 Tasks of tests

Testing and control processes play an important role in the production of aircraft, the purpose of which is to ensure high reliability of the aircraft, its ability to fully perform the specified functions.

Nowadays, the labor-intensiveness of testing and controlled processes is about 20% of the total labor-intensiveness of aircraft manufacturing and is constantly increasing.

Some tests have categories that are divided into types, which are determined by the level, stages of development, as well as tests of finished products.

One of the most important features of any tests is the adoption of certain decisions based on their results. Another feature is the task of certain test conditions (real or simulated), which are understood as a set of influences on the object and modes of its functioning.

The characteristics of the object during tests can be determined both during the functioning of the object and in the absence of functioning in the presence of influences before and after their application.

Tests and control are carried out at all stages of the creation of the aircraft, starting with the development of the design, manufacturing and delivery of finished products and ending with its launch.

During the manufacture of parts, sets, aggregates of products are controlled using non-destructive methods at various stages of aircraft production.

To ensure the release of products, the test system is built in such a way that after manufacturing in the same conditions, the reliability of a batch of products is evaluated during tests with limit loads on control samples from among these products.

The readiness of other products for flight is determined during special acceptance tests with loads close to operational ones. Thus, the test system is based on the principle of analogy of flight samples of products with control ones, which is ensured by the uniformity of not only designs, but also manufacturing technologies, as well as control and technological tests.

The results of enhanced tests of control samples of products are transferred to flight samples that did not pass these tests, which allows to preserve their service life. Control and testing are carried out at all stages of aircraft manufacturing, starting with control of the initial properties of materials, supplies and ending with launch.

**Control** is understood as checking the compliance of the product with the established technical requirements, checking the quantitative and qualitative characteristics of the product properties.

**Testing** is understood as the experimental determination of parameters and indicators of product quality in the process of functioning or during the

simulation of operating conditions, as well as when reproducing the impact on products according to a given program.

It is customary to classify tests by categories, types and methods, and control – by types and methods.

**A category of tests** is a group of tests characterized by the same organizational characteristics of conducting and making decisions based on the results of the evaluation of the object as a whole. Different categories of tests correspond to experimental and serial production.

**The type of tests** is a classification group of tests based on a certain feature, primarily according to the parameters being tested and the nature of the impact. At the same time, various types of tests are conducted within the framework of certain categories.

The type of test is often determined by the place and period of its conduct, as well as the influence of relevant factors on the parameters being tested.

**The test method** is the rules of application of certain principles and means, which include the characteristics of the properties of the object and (or) the test conditions for further processing registered during the research.

The characteristics of the properties of the object are evaluated if the task of the tests is to obtain quantitative estimates, and they are controlled if such a task is only to establish the compliance of the characteristics of the object with the specified requirements.

The most important feature of trials is making certain decisions based on the results. Another feature of them is the assignment of certain test conditions (real or simulated).

The characteristics of objects during tests can be determined both when the object is functioning and when it is not functioning, in the presence of influences before or after their use.

**The object of testing** is the product being tested. The main feature of the test facility is the possibility to make one or another decision about its suitability or unsuitability based on the results of the tests, as well as the possibility of serial production of products, etc.

The term **"test equipment"** means any technical equipment used in testing, primarily testing equipment, measuring equipment, auxiliary technical devices for fastening test objects, recording and processing results, as well as main and auxiliary substances and materials used in tests.

The concept of **"test conditions"** contains a set of factors and (or) modes of operation of the object during tests. The test conditions include external acting factors, both natural and artificially created, internal influences caused by the operation of the object, as well as modes of operation of the object, methods and place of its installation, assembly, fastening, speed of movement, etc.

**The result of the tests** is an assessment of the properties of the object, the established compliance of the object with the specified requirements according to the test data, the final value of the quality of the object's functioning during the tests.

Tests are classified: by purpose, level of their implementation, stages of product development, inspection of finished products, conditions and place of implementation, duration, types of impact, results of impact, certain characteristics of the object (table 1).

Table 1 – Classification of test types and methods

Classification sign	Test
Appointment of tests	Research
	Control
	Comparative
	Determinant
Conduct level	State
	Interdepartmental
	Departmental
Stages of product development	Training
	References
	The previous ones
	Reception rooms
Testing of finished products	Qualifying
	Presenting
	Acceptance and delivery
	Periodic
	Inspection
	Typical
	Attestation
	Certification
Defined characteristics of the object	Functional
	Reliable
	Safe
	Strong
	Steady
	Transportable
	Borderline
	Technological

**Research tests** are tests conducted to study certain characteristics of the object. Their purpose:

1) determination or evaluation of indicators of the quality of the object's functioning in certain conditions of its use;

2) choosing the best modes of use or the best indicators of the properties of the object;

3) comparison of many variants of object implementation during design and certification.

**Control tests** are tests carried out to control the quality of the object.

**Comparative tests** are tests of similar or identical objects, carried out under identical conditions to compare the characteristics of their properties.

**Deterministic tests** are tests related to determining the characteristics of an object with specified values of accuracy and (or) reliability indicators.

The purpose of **practice tests** in the conditions of experimental production is to practice the design of the aircraft and the technological processes of its manufacture, as well as to check the compliance of all parameters and characteristics with the specifications. In the case of autonomous performance tests, the object is aircraft assemblies and assemblies, and in complex tests, the object is the assembled aircraft. Autonomous tests include three stages: design, reference and finishing.

Determining the scope, program and technology of tests is a rather difficult task in each specific case. Despite the significant differences in the tests of various component units and the product as a whole, they constitute a certain system consisting of separate, logically interconnected stages that are carried out according to special programs during the design, manufacture and operation of the aircraft.

**Reference tests** are carried out to confirm the operability of the selected design. At this stage, changes in the design of product elements are allowed and the technological process of testing is specified. **Final tests** are carried out to confirm the necessary performance of the assembly unit in accordance with the adjustments made by the results of the design and reference tests. Complex tests of the aircraft are carried out in order to work out the entire complex of systems, nodes, aggregates and compartments, as well as to determine the compliance of the operational and technical characteristics of the aircraft with those specified in the technical task (TT).

Performance tests are carried out both at the experimental production of RDB (research and design bureau) and at the manufacturing plants.

After mastering the manufacturing technology of assemblies, aggregates, automation elements and other devices, control and technological tests are carried out, including tests of the set batch, acceptance and acceptance, control and sampling, periodic and typical tests.

Tests of the installed batch are carried out when new products are delivered to production for small batches (3–5) of the investigated objects of the same name, manufactured according to the developed technology and which have passed the usual acceptance tests. The test program of the installation batch of products for aircraft includes tests for strength, tightness, vibration and impact tests, function tests, cyclic tests for repeated loading, determination of the actual pressure of destruction, etc.

In case of positive test results of the establishing party, a decision is made on the production of standard assembly units of the products.

Acceptance and acceptance tests are carried out for all manufactured parts, assembly units and the product as a whole in order to check compliance with their technical conditions. Test programs are developed for each assembly

unit and product. They may contain the following types of control: checking the initial geometric parameters, determining the mass, center of mass, strength of the products, checking their tightness and functioning, establishing volumes and critical fuel residues in the containers, checking on-board cable networks, cleanliness of internal cavities, etc.

Fully assembled products undergo factory acceptance and acceptance tests at a special control and testing station (CTS).

**Control and sampling tests** are carried out in order to periodically check the stability of the technological process and the quality of the components and the product as a whole. These tests are carried out selectively for a small (up to 10%) number of nodes from each offered batch. In case of unsatisfactory results, the test is repeated using a double number of nodes (products). If unsatisfactory results are obtained again, the batch of submitted nodes (products) is missing. Production and submission of a new batch of nodes (products) is possible only after identifying and eliminating the causes of defects.

In contrast to the acceptance and acceptance tests, control and sample tests are carried out at the limit loads and modes.

In the case of a certain break in the production of the products in question and in a number of other cases stipulated by the technical documentation, periodic tests are carried out, and when the design and technological documentation is adjusted, typical tests are carried out.

**Standard tests** are carried out in case of changes in the design or manufacturing technology of the unit, unit, system or compartment of the aircraft, which may affect their characteristics, in order to evaluate the effectiveness and feasibility of these changes.

**Periodic tests** are carried out in order to control the stability of the technological process of manufacturing aircraft assembly units and to confirm the possibility of continuing their production. Periodic tests should be carried out at least once a year on the assembly units of products of any batch accepted for control and sample tests during a given year.

The main document for conducting research is the "Test Program and Methodology" and for test categories at the serial production stage – "Technical Conditions". They establish the object and goals of the research, the types, sequence and scope of the experiments, the order, conditions, places and terms of the tests, their provision and reporting. These documents specify the method and means of testing, the requirements of safety technology and environmental protection.

Tests characterized by a place can be divided into **laboratory, bench, range** and **field tests**.

Tests determined by time are divided into **normal** tests, the conduct of which ensures obtaining the necessary amount of information about the characteristics and properties of the object in the time provided for by the operating conditions, and **accelerated** tests – the methods and conditions of



which provide the necessary information about the characteristics and properties of the object in a shorter time than during normal tests.

Tests characterized by active factors are divided into ***mechanical, climatic, thermal, radiation, electromagnetic, electrical, magnetic, chemical, biological, non-destructive*** and ***destructive***.

The tests determined by the verifiable parameters are divided into ***stability tests***, the results of which determine the ability of the product to perform its functions and maintain the values of the parameters within the limits of the specified norms during the action of certain factors on it, and ***strength tests*** – to determine the factors affecting characteristics of the object or cause it to go beyond the permissible limits or the limits of its destruction.

It should be noted that the aircraft control and testing system is built based on certain principles that take into account the specifics of their design, production and operating conditions, cost, etc.

All tests, which should provide sufficient information for the release of aircraft with the necessary reliability, should be carried out on devices manufactured according to the accepted technology. Control and testing must be carried out in such a way that existing defects are detected at earlier stages of manufacturing, at lower levels of aircraft assembly. Control and testing operations should be carried out as close as possible to those assembly operations where expected defects may occur.

The program should contain a list of tests of all types of loads to which the device is subjected during ground preparation and in flight. A number of factors affecting this (vacuum, weightlessness, radiation) are created by simulation. In those cases when the tests are related to the production of a resource or the danger of damage to the tested object, special test samples are made in parallel with the flight ones using the same technology. At least two objects are subjected to similar tests: one is the ultimate maximum destructive load in order to determine the reserve according to its specific type (for example, the durability margin), and the second is an almost operational load in a long-term mode (before destruction) to determine the reserve according to the resource. All flight and test samples of the apparatus undergo control and technological tests according to the program drawn up for flight samples, after which the test samples are submitted for testing on limit loads. The level of test loads should provide the necessary margin for a certain type of impact, but not too much exceed the real conditions, since failures under exaggerated test conditions can lead to unnecessary modifications of the structure, its weighting, and repeated tests. The duration of tests of flight samples is strictly regulated and should be minimal. In some cases, a duration equal to the duration of one cycle of the apparatus on the ground and two cycles of its operation in flight is accepted.

An important principle of testing is the principle of similarity, when the ultimate capabilities of the design are determined on test samples, and the aircraft's suitability for flight – on working samples under loads equal to

operational ones. Working and test samples are made according to the same technology.

It is desirable to test the complex influence of operational factors on a fully assembled aircraft, when previously detected defects have been eliminated, and new defects that have appeared are the result of the mutual influence of individual elements. Such tests must be included in the program of acceptance tests of flight samples. The results of previous tests should be taken into account when conducting higher level tests (there should be no duplication).

Tests on the functioning and integrity of communications of on-board equipment and automation must be carried out according to the principle of a consistently increasing level of repeated tests, which allows the fastest detection of defective elements. After that, the defects must be analyzed, eliminated, and the object must undergo repeated tests in the prescribed amount. They are carried out according to the full program also in case of making fundamental changes to the design, technology or equipment.

All ground testing must be completed prior to flight testing.

From the batch of products that passed factory acceptance tests, one product is subjected to flight tests. To obtain the maximum possible information about the operation of the aircraft systems during the flight, it will be equipped with additional sensors (telemetry option).

## **2 TESTING OF AIRCRAFT EQUIPMENT IN THE MAIN DEPARTMENTS OF AVIATION PRODUCTION**

### **2.1 Organization of non-destructive testing at the enterprise. Basic principles and tasks of control services**

Quality is a complex parameter of materials and products. It is directly related to the quality of product design or development, its production and operation. Therefore, the organization of the quality control service covers almost all spheres and stages of human scientific and industrial activity. The structure of the quality control service largely depends on the structure and type of the enterprise and its production tasks. One of the most important elements of product quality control and assurance is compliance with quality management principles. These principles consist in establishing, ensuring and maintaining the necessary level of product quality during its development, production and operation, carried out through systematic quality control and purposeful influence on conditions and factors characterizing product quality. Quality control is an integral part of the quality management system.

The organization of product quality control is a system of technical and administrative measures aimed at ensuring the normative level of quality: study of the controlled object, the nature of the quality of materials and products; increasing the level of quality and reliability of products, first of all, through the active influence of control on the technological process, ensuring the independence of technical control bodies and accepting products from personnel.

The main tasks of the control service are:

- systematically and timely control the quality of materials and products, technological (assembly and assembly) work, the quality of manufactured products, the technical condition of products during operation using the necessary methods and means of control in accordance with the requirements of the current documentation;
- to prevent the transfer of defective products for the performance of subsequent technological operations or their delivery to the customer;
- to contribute to the improvement of the quality of design, technological, installation, repair and other works;
- accept completed operations and work with the preparation of the necessary technical documentation and participate in handing over materials and products to the customer;
- apply organizational and technical measures aimed at preventing defects and improving the quality of product development and manufacturing, as well as at increasing the technical level of product operation;
- to carry out laboratory studies on non-destructive testing of the strength and tightness of materials and products;
- develop and improve methods, means of control, as well as organize quality control of new types of materials and products.

## Structure of control units.

At modern enterprises, single complex departments (laboratories) of non-destructive testing (ND) are being created. The approximate structure of the ND department is shown in Figure 1.

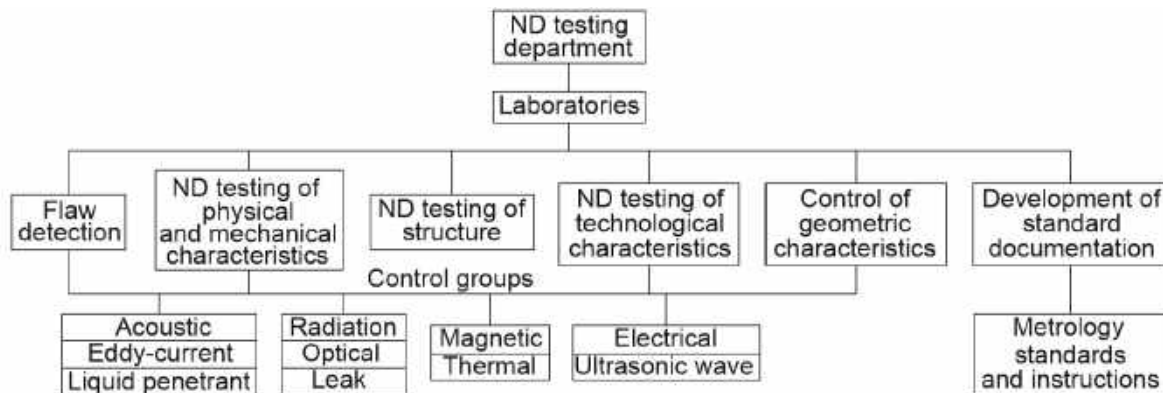


Figure 1 – The structure of the non-destructive testing unit

All groups that are part of the subdivision must be territorially located in the general complex. The use of sources of ionizing radiation necessitates the creation of protective equipment and safe conditions for the work of operators and persons in nearby premises.

The planning of premises for the ND department in most machine-building enterprises is the same.

In the general case, defect inspection services must control materials and products by all inspection methods. In this regard, the premises of the department provide a control room and hardware for radiation equipment, a decryption and photo room, as well as a storage of isotopes, which is equipped with a camera for recharging gamma devices.

The electrophysical group working with electromagnetic, magnetic, optical, ultrasonic and other control methods is placed in two adjacent rooms, and the group dealing with capillary methods (due to the use of toxic components) is in a separate room.

As part of the laboratory, it is necessary to provide a pantry and a workshop for preparing samples, repairing equipment, making devices, premises for the design group (it is engaged in the modernization of equipment and automation of control processes), as well as domestic premises.

If the objects for control are located at a considerable distance and at different production sites, a basic laboratory is organized, which serves according to departmental or territorial characteristics. In this case, either the products are delivered to the laboratory, or its employees go to the facility. It is most rational in such conditions to create a mobile express laboratory. Such flaw detection laboratories are placed in buses or closed cars.

The defect inspection department (laboratory) of machine-building and metallurgical enterprises is part of the service of the chief metallurgist, the chief welder or the central factory laboratory (CFL), sometimes the technical control

department (TC). Given the great impact of the results of these services on the quality of products, it is most appropriate to subordinate them to the deputy head of the enterprise for product quality or the chief engineer.

The structure of the ND department may be different depending on production conditions and product quality requirements.

In physical laboratories (groups), they work on mastering and adjusting equipment and developing methods, as well as on their implementation. All mastered devices and developments are transferred to the workshop control services. In some cases, special ND groups are created as part of shop control services, working under the methodical guidance of the ND department. At the head of separate units of the ND and in their composition, there must be an engineer of the relevant specialty.

If the flaw detection department is not part of the lab complex, then the staffing schedule should provide for the positions of metallurgist or chemist. As a rule, narrow specialization of employees is impossible in factory laboratories. Therefore, it is necessary to know all methods (methods) of ND, as well as functional features of measuring devices.

### ***Interrelationships of control services with other units of the enterprise***

The structure of the quality control service in factory (workshop) conditions should ensure the performance of warning and acceptance control functions. Therefore, technologists, designers, and reliability service workers should participate in quality control work along with control service employees. Their task, first of all, is to analyze and eliminate the causes of the appearance of low-quality materials and products.

Information about defects must necessarily contain statistics of their corrections. The availability of data relating only to the final defect makes the quality control and management system ineffective due to failure to provide statistical information about defects and their causes during the testing process.

Control experience shows that during design, the level of defects is several times higher than when manufacturing products in factory conditions. This is especially characteristic when developing new technology options. Due to the intervention of technologists, control is often not reliable and objective.

The main document, guided by which the quality control of products is carried out in the laboratory, is the control card. A correctly drawn map eliminates the need to use working drawings for the entire nomenclature of controlled products and special journals for recording control conditions. A technical card is drawn up for each product that is subject to control, for specific conditions. In case of increased requirements for the product, a reference defectogram with permissible and unacceptable defects is created, which is attached to the control card. Products deemed suitable are stamped. The control results are recorded in the journal and, if necessary, a test report is issued.

The control system should maximally correspond to the features of the

control object, which can be achieved due to its modular construction. The use of a set of modules (blocks) for the construction of automatic control systems saves the time and money of the developer and manufacturer of these systems. The use of integrated microelectronics products made it possible to reduce the overall dimensions of the blocks and increase their reliability. Particularly significant are the advantages of using block systems compared to serial flaw detectors when building multi-channel control systems that ensure high productivity of products. The need to create various devices intended for the mechanization of the control process should be highlighted. Such devices are especially convenient for a small amount of control.

**Metrological support of means of non-destructive testing (NDT)** is understood as a set of measures that ensures the accuracy and reliability of the results of determining the quality of materials and products. The implementation of quality standards is directly related to their metrological support, which should be provided at the stage of issuing a technical task for development.

The question of the suitability of the equipment for the performance of the task and its condition can be resolved on the basis of the standardization of all the main elements of flaw detectors. Among the standardized parameters, the following are considered: purpose, scope of application, used method, objects of control and types of detected defects, mechanical and climatic conditions of operation, minimum sensitivity, resolution, dead zone, operating frequency, width of the amplitude spectrum, instrumental error of determining the location defect, voltage current, power source, its power consumption, time to establish the operating mode, time of continuous operation, overall dimensions, warranty period.

### 2.1.1 Magnetic control method

#### Physical foundations and scope of use of magnetic methods of ND

Magnetic control takes a leading place in terms of use in industrial settings. It is based on the analysis of the interaction of the magnetic field with the controlled object. The physical basis of magnetic control consists in the use of magnetic properties of materials, in particular, the demagnetizing factor, magnetic resistance and refraction of magnetic lines of force.

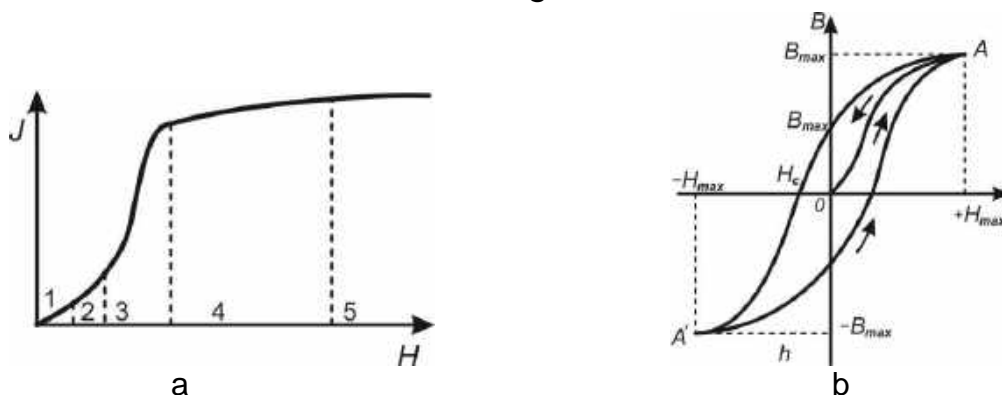


Figure 2 – Dependence of magnetization (a) and magnetic induction (b) on the field strength of electromagnetic materials

The vectors of magnetic induction  $B$  and magnetization  $J$  are nonlinear functions of the voltage vector. Curves  $B(H)$  and  $J(H)$  characterize the main properties of ferromagnetic materials (Figure 2). The main magnetization curve (see Figure 2, a) does not have an exact analytical expression, it is usually determined experimentally. If we consider the curve of magnetization of ferromagnetic materials (for example, some steel), then we can distinguish several areas that differ in the nature of magnetization processes in certain sections of the curve. In the first area (area of initial magnetization)  $\mu = const$ , in the second (Rayleigh area) – as the field strength increases, the magnetic permeability increases linearly, in the third (area of greatest permeability) –  $\mu = \mu_{max}$ , in the fourth (area approaching saturation) – magnetic permeability decreases, in the fifth (paraprocess region) magnetic saturation  $J = const$  occurs.

The magnetization process is irreversible, so if, after saturation has already been reached (the beginning of the fifth section), the reduction of the magnetization of the field is started, this process (induction) will take place along a curve that is different from the main magnetization curve. The magnetization will, as it were, lag behind the values of  $J$  on the initial magnetization curve at the corresponding values of the field strength. This phenomenon is called magnetic hysteresis. When the magnetic field is reduced to zero, the sample remains magnetized to a greater or lesser extent depending on the material (see Figure 2, b). If you change the direction of the magnetization of the field to the opposite and increase it in absolute value, then the magnetization of the sample will decrease (curves  $BO, HO$ ) and upon reaching a certain value, the magnetization of the field will be equal to zero.

A further increase in the field causes the sample to be remagnetized in the opposite direction – the absolute value of the induction increases again. By changing the field in the opposite direction (from  $-H_{max}$  to  $+H_{max}$ ), it is possible to obtain the position corresponding to point A again, that is, to observe the change in the magnetic state of the tested sample along the closed hysteresis loop.

### ***Control of steel parts by magnetic powder method***

1. The magnetic powder control method is used to detect defects in the form of integrity violations on ferromagnetic parts.

The essence of the method is that when parts made of ferromagnetic material are magnetized in places of defects (cracks, flakes, hairs, etc.), magnetic lines of force disperse and emerge on the surface of the part. At the same time, polarity is formed at the edges of the defects. When the part is sprinkled with magnetic powder (dry method) or when sprinkled with magnetic suspension (wet method), particles of magnetic powder are attracted to these poles. The settled powder indicates the location and type of defect. The defect is most clearly detected in those cases when the direction of the magnetic field lines is perpendicular to the direction of the defect.

Applying different methods of magnetization, it is possible to obtain the most profitable (for certain shape of the part and orientation of defects) direction of magnetic lines of force.

2. The magnetic powder method allows detecting defects in parts and semi-finished products made of ferromagnetic steels without destroying them and makes it

possible to carry out one hundred percent control of products.

3. Magnetic control is used to detect defects that appear on the surface of parts and lie at a small depth below the surface (up to 2.0 mm depending on the nature of the defect and the control mode). Magnetic control can detect:

- a) delamination directed to the surface of the part at an angle of at least 20 °;
- b) hairs, i.e. gas bubbles or slag inclusions, stretched along the metal fiber in the process of rolling, forging or drawing of metal;
- c) flocks;
- d) forging and stamping cracks;
- e) pits and pits, i.e. surface folds filled with oxides material;
- f) hardening cracks;
- g) grinding cracks;
- h) welding cracks;
- k) fatigue cracks.

4. Parts after final mechanical and heat treatment are subjected to magnetic control. For some parts, in addition, interoperation control is carried out for gross defects (such as quenching, forging and welding cracks, flaking, delamination, etc.).

5. Welding seams on ferromagnetic parts made with an austenite electrode are not subject to control by the magnetic powder method.

Control of austenite seams on open cracks can be carried out by the luminescent method, with the replacement of the operations of washing and drying parts with sandblasting.

Parts and assemblies must be submitted for magnetic control clean, without scale, rust, chips, dust, degreased or after sandblasting. The sand should then be removed. Using the magnetic powder method, it is allowed to control parts after oxidation, phosphating, coloring or application of a metal coating as a result of galvanizing, cadmium, chrome plating, provided that the thickness of the coating does not exceed 30...50 microns. With a greater thickness of the coating, control is carried out only to detect cracks that reach the surface of the part and other significant defects.

Magnetic powder, which is used for magnetic control of parts with a light surface by the suspension method, is crushed iron oxide ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) of dark brown or black color with a particle size of no more than 50 microns.

Light powder (magnetic) is used to control parts with a dark surface. Finely divided magnetic particles, or magnetic powder, can be in the form of liquid or dry. The surface of the tested product must be clean, dry, without scale or rust. During magnetic tests, the part or assembly is magnetized with an electromagnet, and then covered with a suspension (a mixture of kerosene and transformer oil in a ratio of 1:1 with fine powder) or lubricated with a mixture of kerosene and transformer oil and sprinkled with dry magnetic powder. In places of cracks (breaks, hairs, slag inclusions, flakes, delaminations, etc.) at a depth of up to 2 mm from the surface of the part, characteristic accumulations of powder appear, which are clearly visible during visual inspection or with the help of a magnifying glass of two or four times magnification. Fatigue cracks appear, as a rule, in the places of concentration of stresses: on halyards, in places of



sharp transitions, cuts, deep lines, traces of a cutter, in the bases of threads, teeth, holes of lubricants.

Cracks as a result of welding, quenching and forging appear as broken lines.

Direct and alternating electric currents are used for magnetization, and the intensity of the magnetic field depends on the magnitude of the current. The voltage of the current source should be relatively low for safety purposes, and the possibility of damage to the product should be minimized. Direct current creates a magnetic field that penetrates deep into the metal. The action of the magnetic field created by the alternating current is limited by the skin effect only to the surface layers of the metal. As a result, alternating current is most often used to detect surface defects. The magnitude of the magnetizing current is set using the norms, standards or instructions from the delivery set of the flaw detection equipment. In the absence of such recommendations, the value of the magnetizing current must be determined experimentally.

DC sources can be batteries, generators, or two-semi-cycle AC rectifiers; pulsating alternating current can be obtained by single-half-cycle rectification of single-phase alternating current. In low-voltage current sources of high power, generator motors used during welding work can be used. The maximum current in this case is several hundred amperes, but the number of ampere-turns can be significantly increased by winding a flexible wire of the required length on the product.

For testing relatively small products, a magnetic flaw detector 77PMD-ZM is used, which is mounted in a metal case. The flaw detector kit includes:

- manual electromagnet with removable tips;
- a solenoid with an internal diameter of 90 mm;
- flexible cable 4 m long;
- tank for suspensions with a capacity of 1 l;
- a jar with a capacity of 1 l for storing magnetic powder;
- a magnifying glass with a five-fold magnification for inspection of controlled areas of parts and assemblies.

Table 2 – Data on the sensitivity of physical methods of flaw detection

Control method	The width of cracks near the exit to the surface of the part, determined by a certain method, mm	The minimum length of a crack deep into the metal, determined by a certain method, mm
X-ray illumination	0,1	1...5% transparency of the thickness
Illumination by rays	0,1	1.5...5...4% transparency of the thickness
Magnetic powder	0,001...0,01	0,01...0,03
Luminescent	0,01...0,03	0,03...0,04
Magnetic-luminescent	0,0001...0,001	0,005...0,01
Color flaw detection	0,001...0,03	0,01...0,04
Ultrasonic	0,001...0,03	0,01
Eddy currents	0,001	0,1

Theoretical studies make it possible to characterize only a qualitative picture of changes in electrical conductivity and magnetic permeability under the influence of certain factors. Experimental data obtained using eddy current control characterize the quantitative relationships between the structure and properties of the material, taking into account other factors affecting them. Table 2 shows data on the sensitivity of physical flaw detection methods.

### ***Electroinductive (eddy current) defectoscopy***

The essence of this method is to disrupt eddy currents and determine on special sensors the change in total resistance as a result of the interaction of an alternating magnetic field with the field excited by eddy currents.

With this method, surface cracks with a depth of several micrometers and a length of tenths of a millimeter can be detected.

### ***Triboelectric defectoscopy***

Triboelectromotive force occurs during the friction of dissimilar materials. By measuring the contact potential difference (tribo-EMF) between the standard and the controlled workpiece, it is possible to separate some alloy brands.

### ***Thermoelectric flaw detection***

When the contact points of two dissimilar alloys are heated in a closed circuit, a thermoelectromotive force (thermo-EMF) occurs. When measuring it on the standard and the controlled metal at a given temperature difference of hot and cold contacts (at the other end of the chain), it is possible to distinguish blanks or finished parts by material brands. If materials are mixed up in the production process, you can sort them by brand, identify a change of material on the product.

### ***Electrostatic flaw detection***

To detect surface cracks on metals with a non-conductive coating (enamel, paints, etc.) and on products made of non-conductive materials, a powder method based on the use of an electrostatic field is used.

Finely ground chalk powder is applied to the surface of the product using a sprayer with an ebonite tip, the particles of which receive a positive charge (triboelectric effect). As a result of the inhomogeneity of the electric field, the powder accumulates along the edges of the cracks.

This method is essential for evaluating the quality of finished products after control and passing tests, during operation.

## **2.1.2 Optical control**

Optical control is based on the interaction of light radiation with the surface of the controlled object. When light with a radiation stream hits the material  $\Phi_\lambda$ , it is decomposed into its component parts. Depending on the properties of the material, this decomposition can be different (Figure 3). One part of the light flux

is reflected from the boundary surface ( $\rho_1\Phi_{\lambda 1}$ ), the other ( $\Phi_{\lambda 2} - \Phi_{\lambda 3}$ ) – is absorbed by the sample, and the third –  $\Phi_{\lambda 4} = (1 - \rho_2(\lambda))\Phi_{\lambda 3}$  – passes through it. During optical control, such important spectral characteristics as the spectral emission and absorption coefficient, the spectral transmission coefficient, the spectral reflection coefficient and the refractive index are considered. Determination of these characteristics is the basis of methods that classify reflected, scattered and induced radiation according to the interaction of the light flux with the controlled object.

The spectral absorption coefficient  $\alpha(\lambda)$  is the ratio of the radiation flux ( $\Phi_{\lambda 2} - \Phi_{\lambda 3}$ ) absorbed inside an optically transparent medium to the incident radiation flux  $\Phi_{\lambda 1}$ .

The spectral transmittance is the ratio of the radiation flux  $\Phi_{\lambda 3}$  that passed through the medium to the flux  $\Phi_{\lambda 1}$  that fell on its surface.

The spectral reflectance coefficient  $\rho(\lambda)$  is determined for components of the light flux with parallel and perpendicular oscillations relative to the plane of incidence:

$$\rho_{\parallel}(\lambda) = \text{tg}^2(\theta_1 - \theta_2) / \text{tg}^2(\theta_1 + \theta_2); \quad (1)$$

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

where  $\theta_1$  and  $\theta_2$  are, respectively, the angles of reflection and refraction at normal incidence of the light flux, the transition from one material with a refractive index  $n_1$  to another with a refractive index  $n_2$ .

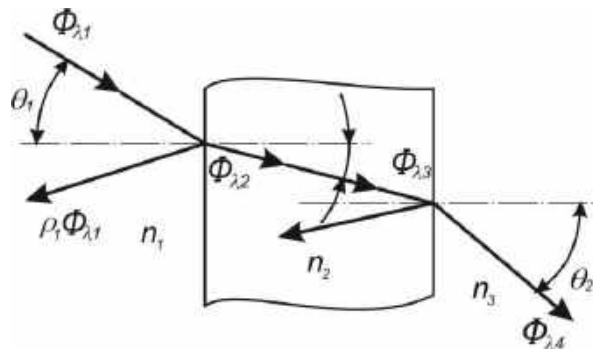


Figure 3 – Scheme of reflection and refraction of a beam when passing through a plane-parallel plate

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

Spectral reflection coefficient

$$\rho(\lambda) = [(n_2 - n_1) / (n_2 + n_1)]^2. \quad (4)$$

The spectral reflectance coefficient is the ratio of the reflected spectral light flux  $\Phi_{\lambda 1}$  to the incident one  $\Phi_{\lambda 1}$ . This coefficient is related to the spectral transmission coefficient  $\tau(\lambda)$  and the spectral absorption coefficient  $\alpha(\lambda)$ , as in the case of infrared (IR) radiation, the ratio

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1. \quad (5)$$

The methods of refraction of rays in a prism made of the appropriate material belong to the most accurate methods, but their application is complicated. Methods of determining the limiting angle of refraction (refractometry) are convenient and productive. Interference methods provide the highest accuracy.

### 2.1.3 Thermal integrity control methods

Thermal ND methods are divided into passive and active. **Passive methods** are used to control products that heat up during operation, active methods are used to control materials and products that are in thermal equilibrium with the environment. **Active methods** are used in the presence of a source of heating (cooling) of the investigated product. When monitoring transparent materials with the help of thermometers, thermal indicators, the intensity of past radiation is recorded in a wide spectrum area or in a narrow spectral range. The methods implemented by devices with images of thermal fields are based on the use of a screen made of liquid crystals, for example, Lita with a thickness of  $\approx 0.1$  mm, as a thermal converter.

Temperature and its distribution are indirect parameters that allow to evaluate the mode of operation, the presence of hidden defects and changes in the electrical parameters of elements of radio electronic devices. After the installation of elements and microcircuits, the board is monitored using IR radiation or a radio frequency probe. The methods of testing with IR radiation are based on the regularity of the connection of the intensity of thermal radiation and its spectral characteristics with the operating state of each element of the printed circuit board.

#### ***Thermal thickness control***

Control of the coating thickness by thermal methods is possible in cases where the thermal conductivity, heat capacity or other technological properties of the coating and base materials differ significantly. The accuracy of measurements by these methods is relatively low, so they are rarely used, mainly for special tasks. For control by thermal methods, existing serial equipment designed for measuring temperatures or analyzing thermal fields, including radiation pyrometers and thermal imagers, can be used.

#### ***Thermal methods***

Thermal testing methods involve applying heat to the tested product and then measuring or visually observing the resulting temperature distribution.

Defects disrupt the proper temperature field on the surface of the product or inside it. Heat can be supplied by direct contact with a heat source, by induction or by means of sources IR radiation. The resulting temperature distribution can be detected using various thermosensitive substances and recording devices. For example, you can use stearin; deposition of frost during freezing; thermal varnishes; thermal paints; temperature phosphors; films sensitive to infrared radiation; thermocouples; resistance thermometers; photoconductive materials, as well as thin oil films that change their color depending on the temperature; characteristic oxides formed during heating, etc.

### ***Thermal tests using fusible coatings***

These methods include thermal tests using thermal pencils and thermal lacquers. A thermal pencil is a heat-sensitive colored chalk that has certain calibrated melting points. Nowadays, the industry produces about 60 different types of thermal pencils, covering the range from 45 to 1110 °C. Each type of thermal pencil corresponds to a certain temperature within the tolerance of  $\pm 1\%$  of the nominal temperature.

## **2.2 Control and testing works in the final assembly shop**

Complex control and ground testing of systems in the process of serial production are concentrated in a specially organized control and testing station.

In the process of incoming control of finished products and assemblies, the consumed currents, operating voltages, relation angles, sensitivity, frequencies, synchronism of operation, operation time, pressure, and temperature are checked.

During the inspection of system areas in aircraft units, the following are checked: correct installation, insulation resistance, tightness, cleanliness of internal surfaces, functioning of systems. On the assembled aircraft, in the final assembly shop, individual control of systems is carried out with the help of autonomous control stands, as well as checking of system subsystems with the help of automated installations with software control. Such installations allow in ground conditions to simulate the operating conditions of systems in the air. They control: functioning of systems under current and pressure; unit operation time; deflection angles; smoothness of movement; sequence of activation of units; consumed current; created pressures; produced voltage.

Control of the most important parameters characterizing the quality of the systems when they work together in conditions close to operating conditions is carried out by special automated control systems (ACC).

All compartments or units of the aircraft (fuselage, wing, nacelle of the engine, etc.) must be delivered to the installation completely finished, that is, drilling, assembly-riveting, welding and other work must be performed, brackets and fasteners must be installed. Compartments or aggregates must be cleaned of industrial waste, and their inner surface must be protected by an anti-corrosion coating (ie, be anodized, primed, painted, etc.).

Elements of on-board equipment arriving for assembly, all parts and components must pass 100% incoming inspection.

Visually check the completeness of traction and cable devices of the control system, as well as whether there is damage to the coating, rust, dents, scratches. Ropes before braiding the ends on a couch or laying in tips are tested for tension. They check the geometric shape of pipe parts and the presence of mechanical damage and metallurgical defects on the external and internal surfaces of the pipe - cracks, hairs, clamps. Pipelines are tested for strength and tightness.

In power lines, during the installation of electrical and radio systems, the strength of the insulation, the cross-section of the wire and its conductivity are checked. Electric wires are checked for correct assembly, strength of connections and the presence of a short circuit between them. Insulation resistance and transient resistances in connections are measured. They check the correct functioning of the electrical equipment, the activation time, and measure the current.

In addition to 100% input control, a selective control of several products from the batch is carried out according to a more advanced program.

Nodes arriving for installation, wires, pipelines, fastening parts and other parts must be interchangeable. Pipelines and fittings arriving for assembly must first be thoroughly cleaned internally, visually inspected, closed with plugs and sealed.

Wires and cables with a damaged coating or shielded by braiding are not allowed for installation.

After checking the geometric shapes, all pipes are tested for strength and tightness.

Before the test, the inner cavity of the pipe is blown with a jet of clean dry compressed air under a pressure of  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  for 15-20 seconds to remove foreign particles. Then the pipes are washed for 5–10 s with rectified alcohol or gasoline supplied under pressure. There should be no mechanical impurities on the control filter with a nickel sarge mesh  $15 \text{ }\mu\text{m}$  long. Immediately after washing and drying, technological plugs or polyethylene films are placed on the ends of the pipelines and a personal stamp or seal of the performer is placed.

Next, quality control of installations is carried out. With 100% control check:

- the presence of gaps between pipelines and structural elements, between mechanisms and elements of the glider, between pipelines, electrical wires and flexible hoses;
- compliance of the completed assembly with the basic and assembly diagrams;
- the presence of mechanical damage (crumpling of pipeline walls and backlash in fastening elements);
- availability of labels and markings.

Assembled pneumatic systems, fire protection, anti-icing, oil and fuel systems are blown with air, and oxygen – with pure nitrogen in assembly and

assembly shops.

Hydraulic systems in assembly shops are flushed with liquid, for which work filters are replaced with technological ones, and non-return valves and throttles are replaced with technological adapters. Flush the system in sections.

Finally, the purity of the hydraulic system is controlled in the laboratory by counting the settled solid particles in a sample taken from the hydraulic system using an automatic counter or under a microscope. The hydraulic system is considered clean if 100 cm<sup>3</sup> of the sample of washing liquid contains no more impurities than prescribed by the standard.

All assembled piping systems are tested for tightness in assembly shops on unassembled compartments and units or in the general assembly shop on a fully assembled aircraft. In the latter case, the tightness is checked before testing the systems for functioning.

With the **hydrostatic control method**, the system is filled with working fluid under pressure and held for a certain time. The tightness of the hydraulic system is checked visually for the presence or absence of drops on the surface of the connection elements or on the filter paper. When a leak is detected, the pressure in the system is reset to zero and the union nuts of the connections are tightened or the pipeline is replaced. After the leakage is eliminated, the tightness test is repeated.

With the **pneumatic method of tightness control**, the system is filled with air or nitrogen under excess pressure, a soap emulsion is applied to the places to be checked, and the appearance of air bubbles in it is observed for a certain time. All piping systems must be purged with air (except for the oxygen system) prior to leak testing. To prevent pipeline systems from filling with moist air, it is necessary to check the efficiency of the silicon helium cartridge mounted on the stand.

### **3 COMPLEX TESTING AND AIRFIELD DEVELOPMENT OF AIRCRAFT SYSTEMS AT AN AVIATION ENTERPRISE**

#### **3.1 Testing and control of systems at the control and testing station**

Testing and testing at the control and testing station (CST) is the final stage of aircraft production, during which, under conditions as close as possible to operational conditions, comprehensive testing and adjustment of systems is carried out with extensive use of automatic control tools with recording of parameters on film. The data of such checks and tests are an objective document that confirms the quality of the performance of the aircraft systems. The main tasks of the KVS are:

- flushing and testing of the fuel system;
- testing of hydraulic systems;
- testing and control of take-off and landing devices, power plants, energy systems and electrical equipment, radar stations, etc.;
- conducting pre-flight and post-flight inspections with analysis of equipment defects discovered during ground testing and flight tests, and development of measures to eliminate them;
- submission and delivery of aircraft to the customer's representative.

The purpose of the control tests is to check the compliance of mass-produced aircraft with the established technical conditions or the reference sample that has passed the appropriate tests (factory, ministerial, state). The fully assembled equipment is checked for operability and functional interaction of the entire complex of aircraft systems at the airfield, and the direct preparation of aircraft for tests in the air is carried out in the airfield workshop of the flight test station.

The methods and means used in the control of on-board equipment at CST are similar to the methods and means of control of on-board equipment in assembly shops.

Inspection and testing of all aircraft (helicopters) must be non-destructive and not affect the service life of equipment elements and the warranty service life of the aircraft as a whole. For some types of on-board equipment, a little preliminary training is necessary and useful. In particular, for electronic high-frequency equipment, mandatory preliminary training is established, which is called training, which can be applied to mechanical and hydraulic systems. In the process of training, individual elements of the mechanisms and self-adjustment of the contours take place. After the training, the appropriate elements of the equipment are re-checked and tested.

Work on the CST is usually carried out in two phases: no engine run, when ground power sources are used to test the hydraulic, pneumatic and electrical systems, and with the engines running, when all types of power are produced by the aircraft's systems. In the latter case, the most favorable conditions for complex tests are created, which allows to reveal the influence of some systems on others.



The organization of bench testing of separate related groups of systems in combination with complex testing allows you to check the interconnection and docking of systems in ground conditions, significantly increase the number of detected defects and failures, and thereby reduce the number of expensive flight tests.

A specific feature of the work carried out at the CST is that parameter control, final adjustment and testing of equipment, communications and systems are performed directly on the aircraft without disassembling blocks and aggregates. This imposes certain requirements on the applied and newly created methods and means of testing and control. During the control and testing of the systems at the KVS, they strive to simultaneously reproduce the operational conditions in the form of stimulating effects produced and fed to the aircraft by simulators.

Due to its versatility, the main mass of control equipment and CST stands is similar to the control equipment used in the final assembly shop. However, separate operations related to testing and control of the functioning of systems at the CST are performed by control and testing equipment, which is different from the one used in the final assembly shop. For example, to check the functionality of electrical circuits and automatic switching, a remote control with automatic signaling of malfunctions in the tested electrical system is used. With the help of the remote control, you can check the electrical circuits of battery heating, control of the pilot's seat, fire protection system, heating of the hermetic helmet and cabin, thermocouples and their resistances, etc. When checking, the stand with the power source is connected to the on-board socket of the airfield power supply, and the technological (transitional) harnesses of the control panel are connected to the connectors of the circuits being checked. When turning on the appropriate switches on the remote control and in the aircraft cabin, the operation of the electric circuit is checked by the control ammeter and the signal light on the remote control.

To test the functioning of the hydraulic system, a universal stand is used, which can also be used to check the tightness of the fuel system and the pilot's cabin. When testing for tightness, air is supplied to the pilot's cabin through the fitting of the ground ventilation pipe, which is connected to a manometer for measuring the pressure in the cabin. The pressure alarm is interlocked with an electro-pneumatic valve, which provides drainage when the pressure at the entrance to the cabin increases. In order to automatically determine the time of pressure drop in the cabin, an electric stopwatch is installed on the stand, which is connected to the electric pneumatic valve for filling the cabin and the electric contact of the manometer. Before testing the hydraulic system for operation, the aircraft must be installed on a hydraulic lift. Hydraulic units are controlled from the pilot's cabin.

Aircraft units operating from the pneumatic system are checked for functioning on special stands.

The control and testing station must be equipped with a deviation platform, as well as transport vehicles, tractors, special snow removal and watering machines, fuel and oil dispensers, electric cars, carts for transporting cylinders, batteries and other cargo.

Workplaces for working out aircraft systems, in addition to specific control tools, are equipped with typical equipment: hydraulic lifts, ladders, gantry cranes, brake pads, power sources with electricity and air, mobile airfield compressors, accumulator batteries, etc. This equipment can be stationary or mobile. Depending on the class of aircraft in service, the composition of the ground equipment that equips each workplace changes.

A special group of CST equipment includes test stands simulating the operating conditions of the aircraft's on-board systems. On such stands, normal and emergency modes of operation are simulated, as well as transient processes are recorded. Test results (a measure of reliability and objectivity of control) depend on the completeness of reproduced working modes of the system, the degree of automation of reproduction of external operating conditions of the system, changes in its parameters, measurement and registration of received data.

Simulating test stands allow:

- check the theoretical calculations adopted during the development of new equipment;
- to determine the optimal schemes and parameters for the designed system by means of research in real operating conditions of units;
- conduct control tests of systems to determine deviations of their parameters from the specified values;
- conduct resource tests or tests to the first failure;
- reproduce emergency modes in connection with complaints from operating organizations;
- to model structural and production defects in order to identify their impact on system performance and reliability, etc.

After working out, controlling and adjusting individual systems, the plane is transported to the deviation site, where it is checked by the direction finder and the indicators of magnetic, gyromagnetic devices and radio compasses are corrected. To write off the deviation of the compasses, the plane is installed on the turning wheel. Next, the flight weight and the position of the center of gravity of the aircraft are determined by weighing it in two or more loading options (empty aircraft with fixed equipment and fully loaded).

One of the main ways to improve the quality of testing and reliability of aircraft (helicopters) is the use of automatic objective means of autonomous and integrated control and testing of on-board equipment.

The stands connected to the checking systems undergo a set of checks by a predetermined program. All parameters of these systems can be seen on a computer or an oscillogram. Self-recording devices in the stands measure data and provide greater objectivity and documentation of checks. Various principles

of checks using automatic devices are applied. The simplest is a check based on the "yes – no" principle. If the stand does not indicate defects, then it kind of answers "yes", that is, it accepts the controlled system. If the stand detects a defect, it automatically stops the inspection.

In the process of preliminary tests, it is more appropriate to use automated stands and installations that not only show the serviceability or malfunction of the system, but also record individual parameters and failures. The necessary sequence of tests and coordination of the work of the stand is provided by a programmed device. The input signal generators connected to the simulator, launched with its help, provide signals to the input of the tested system. The received signal is converted and compared in a comparator with reference signals coming from the generator. The results of the comparison are fed into the analyzer – a specialized computing device that automatically evaluates the monitored value. Then the output signal is sent to the indicator. If the signal does not exceed the permissible limits, the programming device issues a command to continue the test. If the output signal is not within the permissible limits, then the programming device and the analyzer are activated to detect the location of the malfunction. Such a stand reduces the time of aircraft inspections from several days to several hours.

All control and testing equipment of such a stand is mounted on the base of the car chassis.

### **3.2 Complex tests at the flight test station**

Flight tests are a crucial stage in the development of an aircraft, after which its main characteristics are finally determined.

When preparing flight tests, one of the main tasks is to determine the necessary composition and number of measured parameters, as well as the rational placement of sensors and equipment of the measurement system. The implementation of this task is carried out at all stages of the development of the selected layout scheme, which is based on the analysis of the expected functioning of systems and units of the aircraft at all stages of operation in normal and emergency situations. Special attention is paid to emergency situations, since the probability of the occurrence of such situations is quite high during flight training, and identifying and eliminating their causes is one of the main tasks of flight tests. By modeling the functioning of the aircraft, its systems and units in different sections of the flight under regular situations, as well as possible emergency situations, the probable processes of their development and the operation of the systems and units of the aircraft in these conditions, it is possible to determine the places of installation of the equipment sensors, the range of measurements and the list of measured parameters. This makes it possible to make fairly reliable conclusions about the parameters of the aircraft and the processes taking place on board it in all these situations. With appropriate processing of measurement results, it is possible to directly or indirectly establish:

- the correctness of the calculated load definition;
- the correctness of the choice of the dynamic scheme;
- reaction of the structure to external influences;
- the frequency and form of natural elastic oscillations and the logarithmic decrement of their damping;
- true position of the center of pressure;
- the correctness of the description of the dynamic scheme of the "Aircraft – engine" system;
- aerodynamic resistance;
- a sufficient number of control bodies.

Flight tests, especially if they have an unfavorable result, reveal the need to refine certain elements of the structure or system of the aircraft. After that, you should perform additional bench tests, strength tests and others that confirm the correctness of the decisions made. However, the task of flight tests is not only to confirm the correctness of the decisions made and to identify weak points, but also to determine the margin of safety laid down at the previous stages of development, therefore, during flight tests, the accumulation of information about the actual characteristics of the aircraft and the clarification of calculation methods and schemes becomes possible reducing this reserve and improving the flight characteristics of the aircraft.

Flight tests of aircraft are carried out in the airfield workshop, the main link of which is the flight test station (FTS). Depending on the type of tests and their orientation, the labor intensity of the work performed in this workshop can be from 5 to 10% of the total labor intensity of aircraft production. In order to reduce the time frame for the production of aircraft, they strive to reduce the volume of work in the airfield shop by performing a number of works in the assembly shops. In the airfield shop, the aircraft is received from the general assembly shop, tested and then flight tests are carried out, after which the defects are eliminated and the final testing of the aircraft is carried out. The aircraft is also handed over to the customer in the airport workshop.

A FTS usually contains one or more buildings and an airfield with one or more runways. The buildings include areas for general testing of aircraft and preparing them for flight, a command and control center equipped with radio equipment for controlling all flight work, laboratories, a garage, workshops, warehouses and other utility premises. Areas of general training of aircraft can also be located on open areas equipped with a set of ladders, permanent power supply points with electricity and compressed air.

In addition to the equipment of workplaces for work on the aircraft, the FTS includes fuel and lubricant warehouses, battery charging stations, mobile stands and generators for testing electrical systems, radio equipment, hydraulic and pneumatic systems, heating devices, power plants and much more. The garage accommodates general-purpose vehicles, electric vehicles, towing equipment, snow plows, sanitation and fire engines. Workshops are equipped with a machine park, welding stations, areas for metalwork.

Airplanes are refueled with fuel and lubricant both from fuel and lubricant dispensers and from special stands. There are devices for draining oil and fuel, as well as oxygen and nitrogen filling systems. Starting engines and checking the operation of electrical and radio equipment is carried out from sources of electric current – electric cars and special installations. Special stands are used to test radio equipment and hydraulic systems. Special hydraulic lifts are used to lift the aircraft into the flight line and practice lifting and lowering the landing gear.

After the aircraft is transferred from the general assembly shop to the FTS, electrical equipment, hydraulic and pneumatic systems, fuel and oil systems, tank filling and calibration systems, chassis inspection (cleaning, exhausting, signaling), aircraft control systems and power plant, engine operation in ground conditions are checked, as well as the operation of systems of special equipment, air navigation, radar, external and internal communication.

The control of each system begins with an inspection and inspection of the installation in the general assembly shop, then a bench check of the systems is performed when the power is connected, and the operating modes of the systems are set. On the FTS, the systems are tested with the engine running, when the system is powered by the units driven by the engines. Such control is peculiar only to the airfield shop.

The systems are checked according to the instructions, which specify the sequence of work, methods of adjustment and initial parameters of the systems.

When checking the controls, the deflection angles of the rudders, ailerons, and trimmers are monitored; forces affecting the handle and pedals; pressure in the booster control hydraulic system; absence of gaps in the traction, rockers; tension forces of the cables. Particular attention is paid to the gaps between the moving parts of the rods. The tension of the cables is checked with a strain gauge, and a special protractor is used to check the deflection angles of the controls.

When checking the release and cleaning of the chassis, they measure the time, control the closing of the locks, the activation of the alarm during the cleaning and release of the chassis and the emergency alarm, the "fitting" of the wings and fairings of the chassis in the stowed position.

Control of the fuel system begins with leak tests and checking the fuel gauge readings. Calibration of the fuel gauge is carried out by pouring the measured amount of fuel into the tanks and correcting the readings on this fuel gauge. When checking the fuel system on the plane, work related to the appearance of electric current in the wire and sparks from shocks is prohibited. The power supply is turned on only after refueling and checking the tightness of the fuel system. In order to better detect the places of leakage, the fuel is sometimes tinted. All work related to pumping fuel during tests is carried out with the help of special stands. Their use significantly shortens the work cycle of any type of fuel filling and draining, when accurate measurements of the volume are required, facilitates the work of workers, and ensures the cleanliness of refueling places.

When checking the operation of the engines, the starting system, temperature regime, fuel pressure in different modes, operation of units installed on the engine are monitored. Particular attention is paid to the cleanliness and tightness of the engine oil system, and its functioning is checked.

Flight tests are carried out according to a special program, which specifies the parameters of the checking systems, methods of checks, operating modes, etc. Determine what and how each crew member should be checked during engine start, taxiing, takeoff, climb, flight and landing. They check the operation of the engines on the ground and in flight in all modes, the operation of the controls, the rate of climb and speed of the aircraft at different altitudes, cleaning and release of the landing gear, the operation of the altitude and anti-icing system, as well as the strength of the aircraft by creating overloads. A number of indicators are recorded by control and recording equipment.

All defects discovered during the flight are entered in the flight sheet, if necessary, after the defects are eliminated, a re-flight is conducted. After the flight by the crew of the FTS, the aircraft undergoes ground training again. The plane is inspected in the same way as before the flight, the condition of various systems is checked according to special instructions after the flight, and all deficiencies that were discovered during the flight and after the inspection are eliminated.

Particular attention is paid to the detection of possible violations of the integrity of parts and their connections, which perceive loads in flight. For verification, some of the most responsible fasteners and nodes are selectively disassembled. In the oil, hydraulic and fuel systems, check whether there are no metal shavings in the filters, which indicates clogging and quick activation of the units from friction. When a chip is detected, a unit with defects is recognized, the cause of the defect is determined and the unit is replaced.

After eliminating all defects, the aircraft is prepared for the acceptance and delivery flight by the customer's crew. Before the flight, the customer's representatives check the documentation, conduct a full pre-flight inspection of the aircraft with a ground test of the operation of all systems and engines. Ground maintenance of the flight by the customer's crew is carried out by FTS services. The technical readiness of the aircraft for operation is formalized by bilateral signing of the acceptance and handover documentation.

## **4 ORGANIZATION OF TESTS OF SERIAL PRODUCTS**

### **4.1 Presenting tests**

Acceptance and submission tests (AST) are tests during acceptance control. They are carried out in order to check the compliance of the product (or batch of products) with the technical conditions (TC) established for this category of tests, as well as the control sample, if it is provided for in the TC, or the reference sample, if it is available.

This type of testing is conducted by the customer's representative in the presence of a representative of the technical control department (TCD). Such tests include products that have passed the presentation tests conducted by TCD in order to control the products for compliance with the requirements of the Technical Specifications and to determine the readiness of the products for presentation to the customer's representative. As a rule, the volume of demonstrative tests is larger, and the norm for the parameters being tested is smaller than in the case of acceptance tests. Separate types of presentation and acceptance tests, in particular related to the use of destructive control methods, are combined. The results of the presentation tests are formalized in a protocol.

Acceptance and acceptance tests are carried out, as a rule, at the manufacturing enterprise, but some types of products can be tested in other industrial organizations and in the organizations of the customer. Material, technical and metrological support is provided by the manufacturing enterprise (in other cases, the organization that conducts tests and the manufacturing enterprise by agreed decisions).

The types of tests (electrical, mechanical, climatic, reliability, etc.) and control (visual, measuring, etc.), the sequence of their conduct, controlled parameters (indicators) and their standards are established in the technical conditions.

Before the start of the AST, the representative of the customer makes sure that the reference, normative, design and technological documentation necessary for conducting tests is available; checks the place of testing for conformity of the area, equipment, condition and provided conditions (temperature, humidity, air purity, influence of electric and electromagnetic fields, etc.) to testing methods, as well as safety and environmental protection requirements. He verifies the compliance of the means of testing, measurement and control with the norms of technical data (NTD) relating to the methods of testing this type of products and the timeliness of the metrological attestation (verification) of these means. In the absence of any documents, due to their incorrect registration, non-compliance of the premises with NTD requirements regarding test methods, lack of metrological attestation of test, measurement and control means, the representative of the customer has the right not to start the AST and demand the elimination of existing deficiencies.

The TCD service of the manufacturing enterprise informs the representative of the customer that the product has been checked and accepted

by the TCD, that it fully complies with the technical specifications and is submitted for testing. At the same time, the TCD prepares a report signed by the head of the manufacturing enterprise (chief engineer) and the head of the TCD (chief quality controller), forms and passports for products, and a protocol of presentation tests.

The customer's representative checks:

- the correctness of the notification;
- the accuracy of filling out the form and passport for the product and its components, the presence of the TCD stamp and the date of acceptance, as well as warranty obligations;
- availability of acts, protocols and other documents confirming the technical inspection of product components;
- availability of protocols with received positive results of all categories of tests: demonstrative; qualification (products that are produced for the first time); periodic (in the case when production is resumed after a flight that exceeds the periodicity of tests);
- resource consumption of the product and its component parts;
- availability of appropriate seals and stamps on the product;
- completeness of the product;
- the number of products submitted simultaneously in one message.

Conducting and experimental determination of tests includes the processes of preparation and implementation of tests.

The process of preparation for tests includes the following types of work:

- preparation and adjustment of the test object, test equipment and measuring instruments;
- control of the correct installation of auxiliary equipment, devices, devices;
- verification of test conditions;
- carrying out safety and environmental protection measures, etc.

The testing process includes an external inspection of the object and direct application of test methods.

During the external inspection, check:

- appearance of the test object;
- divisions on the scales of built-in measuring devices; prices of divisions of metering devices;
- availability of certificates for the use of the grounding circuit and stamps.

During the test, the following are controlled:

- functioning of test equipment, measuring instruments, test object and their interaction;
- correctness and reliability of grounding;
- activation of thermal protection, emergency signaling, blocking, etc.

When directly conducting the tests, the existing NTD should be guided by the methods and methods of performing experimental operations developed to determine the relevant characteristics of the tests. In disputed situations, it is necessary to act in accordance with the Terms and Conditions.



Products intended to work together with other products should be tested on a stand or similar system where the test product should be installed together with other products or their equivalents, unless otherwise specified in the technical specifications.

If the technical specifications are not defined, it is forbidden to adjust (regulate) the product during the testing process.

In case of failure in the process of tests of a replaceable element, the product is considered to have failed the test, or, if it is established in the Technical Specifications, replacement of the failed element is allowed. When it is replaced, the tests continue or are repeated on points, the performance of which could affect the failure of the replaceable element. If the element fails repeatedly, the product is considered to have failed the test.

In addition, it is considered a negative result if, during the test, non-compliance of the product with at least one requirement established in the technical specifications during the AST is found.

The customer's representative returns the product that failed the test to TCD, stating the reasons for the return and failure in the message. TCD studies the reasons for non-compliance of the product with the requirements of the Technical Specifications, and determines the possibilities of correcting the defect. If it is impossible or impractical to eliminate the defects, the product is finally rejected and isolated from workable products. If it is found possible to correct the defect from repeated presentation, then the defect is eliminated.

The reasons for the non-compliance of the product with the technical specifications and the measures taken by the company are reflected in the act "Analysis and elimination of defects and their causes".

The product, in which the defects have been eliminated, is re-checked at the manufacturing enterprise, it is again tested and accepted by the TCD, and if the results are positive, it is re-submitted to the representative of the customer with the same message, but with the inscription "Secondary" and an act on the analysis and elimination of defects after re-testing review of TCD. If the returned product is not re-offered, only the act is presented to the representative of the customer.

The product that did not pass the repeated tests is missing and isolated from the workable products.

The fact of rejected products with repeated AST indicates the possible effect of an unfavorable systematic factor. This can be evidenced by the fact that two products in a row were rejected according to the results of the primary AST. Therefore, in these cases, testing and acceptance of products are stopped, the reasons that caused the termination of testing and acceptance are identified and eliminated, defects are eliminated, and the corresponding document is drawn up. For certain types of products, the number of consecutive rejections is allowed, in case of exceeding which a decision is made to stop acceptance. The decision on resumption of acceptance is made by the customers and the organization to which the manufacturing enterprise is subordinated, or (with the consent of the

customer) – the representative of the customer and the head of the enterprise, with notification of this to the customer and the organization to which the manufacturing enterprise is subordinated.

In the case of receiving positive test results, the customer's representative accepts the product, puts seals and stamps, and gives a conclusion on the acceptance and suitability of the product in the passport (form).

Accepted products are subject to shipment or delivery to the manufacturing company for responsible storage.

## **4.2 Periodic tests**

Periodic tests are control tests that are carried out with the aim of:

- periodic quality control of products (lots);
- control of the stability of the technological process in the period between the previous and next tests;
- confirmation of the possibility of continuing the production of products according to the relevant design and technological documentation, technical specifications and their acceptance.

The test is carried out by the manufacturer with the participation and control of the representative of the customer. In some cases, periodic tests can be carried out at industrial enterprises that are not manufacturers of the tested products, or at the customer's organizations. A representative of the manufacturer's plant and a representative of the customer participate in these tests.

Periodic tests are carried out after a certain period of time (month, quarter, half year, year) or every time after the production of a certain number of products. The periodicity, volume and sequence of tests are established in the Technical Specifications for the product.

Products for periodic tests are selected by the customer's representative in the presence of the NTD representative from the number of products manufactured in a controlled period in a certain quantity and which have passed the AST.

The rules for conducting tests are similar to the rules for conducting AST. The signs by which a product is considered to have passed or failed periodic tests are the same as for AST. And the actions and conclusions based on the test results are different.

If the product has passed periodic tests, then it is considered confirmed:

- quality of products of the controlled period or products of a controlled quantity;
- the possibility of further production and acceptance of products with the documentation according to which the product that has passed periodic tests was manufactured, until the results of the next periodic tests are obtained.

If the product has not passed the periodic tests, the acceptance of products and the shipment of previously accepted products are stopped. The manufacturer and the representative of the customer begin the analysis and

determination of the causes and nature of the defects. Based on the results of the analysis, a list of defects detected during periodic tests and measures to eliminate defects and their causes is drawn up.

Acceptance of components of own production, intended for the complete set of products delivered to the customer, in which no defects have been found according to the results of the analysis, is allowed to continue.

If the nature of the defects is such that it reduces the tactical and technical characteristics of the product, then all products accepted during the controlled period are improved or replaced. For this purpose, accepted but not shipped products are returned to the manufacturing company.

After the elimination of defects and the causes of their occurrence, the refined or newly manufactured products together with the act (protocol) confirming the elimination of defects and the correctness of the measures taken to prevent them are submitted for re-testing. The number of products with which repeated tests are carried out is set in the technical specifications for the product. As a rule, this is double the amount.

With positive results of repeated periodic tests, acceptance and shipment of products are resumed. In the case of negative results, the customer and the organization that manages the manufacturing enterprise make decisions about further production, resumption of acceptance, as well as decisions about previously manufactured products.

The results of periodic tests, including repeated tests, are formalized in an act.

### **4.3 Typical tests**

Standard tests are control tests conducted with the aim of evaluating the effectiveness and expediency of proposed changes to the design of the product or its manufacturing technology, which may affect the tactical and technical characteristics of the product and (or) its operation.

The customer, the customer's representative, the managers of the manufacturing company, the developer company, and the organizations under the management of these companies may participate in the joint decision regarding the need to conduct standard tests to one degree or another. Participation and the degree of participation are determined by the nature of the changes made.

Tests are carried out at the manufacturing enterprise or at the customer's organization. The representative of the customer at the manufacturing company participates in the tests, and if necessary, the representative of the developing company and the representative of the customer may participate.

The manufacturing enterprise develops a program and methodology of standard tests, which include acceptance and periodic tests, requirements for establishing the number of products for testing, instructions for using the product subject to standard tests. In addition to AST and periodic tests, there may be others. The scope of the conducted tests should be sufficient to assess the

impact of the introduced changes on the tactical and technical characteristics of the products. The test program is either established or agreed upon in the bodies that approve changes to the design or technical documentation for a specific product.

Products manufactured taking into account the introduced changes are submitted for testing. Their readiness for testing and, if necessary, selection is confirmed by NTD employees and a representative of the customer.

If the results of the tests revealed the effectiveness and expediency of the proposed changes, then these changes are indicated in the relevant documentation for the product. Products with introduced changes will be subjected to periodic and acceptance tests in the future. If the effectiveness and expediency of the proposed changes are not confirmed, they are not included in the documentation. The results of the tests are formalized in an act.

#### **4.4 Certification works**

During certification, aircraft equipment is checked for compliance with airworthiness standards (AWS) and requirements for environmental protection from the effects of aviation devices.

The **certification basis** is a complex of AWS, standards and regulations in the field of environmental protection, which apply to a certain type of aviation equipment. In accordance with the current certification rules, a model of aircraft means a type of aircraft, a type of aircraft engine, a type of propeller, and a type of auxiliary engine.

A **type certificate** is a document issued by the Aviation Register that certifies the compliance of a type of aircraft model with the requirements of the certification basis.

An **airworthiness certificate** is a document that certifies the compliance of a specific aircraft (A) with the requirements of the certification base, and is a necessary condition for the admission of this aircraft to flight operation (with restrictions set for it).

Special export certificates of airworthiness are provided for samples of aviation equipment that are sent for export.

All components of the aircraft for certification will be divided into three classes:

- the first class – aviation main engine (AME), propeller (P) and auxiliary engine (AE);
- second class – fuselage, wing, control surfaces, wing mechanization sections, landing gear, mechanical control system and other parts of the airframe design, the performance of which directly affects the airworthiness of the aircraft;
- the third class – component products (CP), which include any mechanisms, devices, equipment elements (also connecting equipment), standard parts and other component (finished) products installed on A, AME, P and AE, used for the implementation aircraft flight.

Components of the third class of aviation equipment are divided into two categories according to the degree of influence of their performance on the airworthiness of the sample:

- category A - products, the malfunction of which has a significant impact on the airworthiness of the sample;
- category B - products that do not belong to category A, including standard parts.

The minimum list of component parts (CP) of category A is established by the circular of the Aviation Register.

First class components undergo certification with the issuance of type certificates by Aviaregister. Components of the second class undergo certification as part of the components of the aircraft.

Certification of CP of the third class, separately from the components of the first class of the A, is called a **qualification**. Such a special term is due to the fact that, as a rule, these products are not independent goods. Accordingly, the concept of qualification basis was introduced. The **qualification basis** is a set of requirements for airworthiness, requirements of the technical task for disassembly, state and industry standards that apply to a certain CP.

To ensure the certification of a certain type of aviation equipment (AE), the CPs installed on it must undergo a qualification procedure.

Based on its results, they draw up:

- product suitability certificate – for type CP category A;
- approval for installation of the product – for type CP category B.

Product suitability certificate is a document certifying the conformity of the CP type with the requirements of the qualification basis.

#### 4.5 Aircraft maintenance and repair

The successful use of new materials and structural solutions depends on maintenance programs that are both cost-effective and ensure passenger safety.

Maintenance programs are developed for each new type of aircraft based on previous experience with similar materials, engines, components or designs. New materials or designs with little experience are serviced more frequently until a baseline is developed and established. The increase in intervals between inspections is based on observations made during scheduled service inspections. A typical maintenance plan is presented in Table 3.

Table 3 – Typical maintenance plan

When service is performed Type of service provided Impact on airline service	When service is performed Type of service provided Impact on airline service	When service is performed Type of service provided Impact on airline service
Before each flight, "Walk-around" is a visual	Before each flight, "Walk-around" is a visual inspection of the appearance of the aircraft and	Before each flight, "Walk-around" is a

Continuation of table 3

<p>inspection of the appearance of the aircraft and engines for damage, leaks, brake and tire wear. Does not affect</p>	<p>engines for damage, leaks, brake and tire wear. Does not affect</p>	<p>visual inspection of the appearance of the aircraft and engines for damage, leaks, brake and tire wear. Does not affect</p>
<p>Every 45 hours (domestic flights) or 65 hours (international flights) of flight Special checks of engine oils, hydraulics, oxygen and special aircraft requirements. Shutdown for the night</p>	<p>Every 45 hours (domestic flights) or 65 hours (international flights) of flight Special checks of engine oils, hydraulics, oxygen and special aircraft requirements. Shutdown for the night</p>	<p>Every 45 hours (domestic flights) or 65 hours (international flights) of flight Special checks of engine oils, hydraulics, oxygen and special aircraft requirements. Shutdown for the night</p>
<p>Every 200-450 hours (22-37 days) of flight "A" Check - detailed inspection of the aircraft interior and engine, maintenance and lubrication of systems such as ignition, generators, cockpit, air conditioning, hydraulics, structure and landing gear. Shutdown for the night</p>	<p>Every 200-450 hours (22-37 days) of flight "A" Check - detailed inspection of the aircraft interior and engine, maintenance and lubrication of systems such as ignition, generators, cockpit, air conditioning, hydraulics, structure and landing gear. Shutdown for the night</p>	<p>Every 200-450 hours (22-37 days) of flight "A" Check - detailed inspection of the aircraft interior and engine, maintenance and lubrication of systems such as ignition, generators, cockpit, air conditioning, hydraulics, structure and Landing gear. Shutdown for the night</p>
<p>Every 400-900 hours (45-75 days) of flight. Check "B" - torque test, internal checks and checks of flight controls. Shutdown for the night</p>	<p>Every 400-900 hours (45-75 days) of flight. Check "B" - torque test, internal checks and checks of flight controls. Shutdown for the night</p>	<p>Every 400-900 hours (45-75 days) of flight. Check "B" - torque test, internal checks and checks of flight controls. Shutdown for the night</p>

Continuation of table 3

<p>Every 13-15 months Inspection "C" - detailed inspection and repair program of aircraft engines and systems. Stoppage of operation for 3-5 days</p>	<p>Every 13-15 months Inspection "C" - detailed inspection and repair program of aircraft engines and systems. Stoppage of operation for 3-5 days</p>	<p>Every 13-15 months Inspection "C" - detailed inspection and repair program of aircraft engines and systems. Stoppage of operation for 3-5 days</p>
<p>Every 2 years (narrow-body aircraft) Inspection and re-application of anti-corrosion coatings Downtime for up to 30 days</p>	<p>Every 2 years (narrow-body aircraft) Inspection and re-application of anti-corrosion coatings Downtime for up to 30 days</p>	<p>Every 2 years (narrow-body aircraft) Inspection and re-application of anti-corrosion coatings Downtime for up to 30 days</p>
<p>Every 3-5 years Major structural inspections with attention to fatigue damage, corrosion, etc. Aircraft are disassembled, repaired and restored. The aircraft is repainted if necessary. Suspension of operation for up to 30 days</p>	<p>Every 3-5 years Major structural inspections with attention to fatigue damage, corrosion, etc. Aircraft are disassembled, repaired and restored. The aircraft is repainted if necessary. Suspension of operation for up to 30 days</p>	<p>Every 3-5 years Major structural inspections with attention to fatigue damage, corrosion, etc. Aircraft are disassembled, repaired and restored. The aircraft is repainted if necessary. Suspension of operation for up to 30 days</p>

The goals of an effective maintenance program are to:

- Ensure, through maintenance work, the maintenance of the inherent safety and reliability of the aircraft, embedded in its design.
- Provide opportunities to restore the level of safety and reliability in case of deterioration.
- Obtain information for design modification when internal reliability is insufficient.
- To achieve the above with minimal costs.

**Structural maintenance**

Any new aircraft development program is based on an evaluation of aircraft design information, fatigue and damage resistance assessments, experience with similar aircraft designs, and relevant test results. Typically, a maintenance task evaluates sources of structural wear, including accidental damage,

environmental degradation, and fatigue damage; susceptibility of the structure to each source of destruction; effects of structural deterioration on continued airworthiness, including effects on the aircraft (eg, loss of functionality and reduced residual strength, multi-node or multi-element fatigue damage, effects on aircraft flight or response characteristics caused by interaction of structural damage or failure of power plant systems or elements , or loss of structural elements in flight); as well as the applicability and effectiveness of various structural failure detection methods, taking into account inspection thresholds and repetition intervals.

#### *Component maintenance*

The use of new materials does not cause unnecessary hardship or maintenance difficulties for airlines, provided the aircraft designer is familiar with the experience of working with the components. Airline experience shows that equipment wears out, but the statistical age-related wear and tear of complex mechanical, electrical, and avionics components is not the dominant cause of failure. In fact, over 90% of typical parts exhibit either random failure or a gradual increase in failure probability with age.

The reliability of a piece or component of aircraft equipment is only as good as its inherent design (backed by appropriate maintenance) allows. Therefore, it is generally accepted that (1) good maintenance allows parts to reach their potential reliability; (2) excessive maintenance does not increase reliability, but results in a loss of money; and (3) insufficient maintenance can reduce reliability. In general, fundamental design changes are required to address reliability problems inherent in components.

There are three approaches to preventive maintenance that have proven to be effective. The first method, "hard time limit" (hard time), involves decommissioning the device when it reaches a predetermined value of the parameter. The second method, functional testing or inspection, involves monitoring the characteristic dimensions or usage/performance parameters of a piece of hardware to determine whether it is fit for continued use or should be removed to prevent operational failure. The third method, functional verification, requires performing a technical verification of hardware functions to determine the availability of each function, if it is normally hidden from the attention of flight and operational crews.

There are many components for which wear measurement, periodic removal for maintenance, and inspection of hidden functions are economically impractical or unprofitable. Such parts require regular monitoring of operability and reliability, and preventive maintenance is neither necessary nor desirable. Modern aircraft are more tolerant of failure than older aircraft designs due to the increased margin built into the design.

Generally, most airlines classify specific component maintenance tasks as follows:

- lubrication or maintenance, where the replenishment of consumables reduces the rate of functional wear;



– operational or visual inspection, where identification of the malfunction may be possible;

– inspection or functional testing, where it is possible to detect a decrease in resistance to failures, the rate of decrease in resistance to failures must be predicted;

– restoration of those elements that show functional characteristics of degradation upon reaching a certain age, so that the majority of units survive to this age and can be restored to the required resistance to failures of the corresponding standard; and

– culling, those elements that show functional degradation characteristics at a certain age, so that most units survive to that age, and most units are expected to survive to that age.

Component failures must be obvious to the operating crew, have no direct adverse effect on safety (whether they occur as a single or multiple event), and minimize the impact on aircraft operations.

## 5 TEST PROGRAM AND CERTIFICATION ON SPECIFIC EXAMPLES OF AIRBUS A380

### 5.1 Ensuring airworthiness

Before entering mass production, Airbus aircraft undergo complex and rigorous flight testing and certification (Figure 4). After approval and certification, the aircraft is allowed to operate. This extensive process is detailed in the paragraphs below with specific examples of the Airbus A380, A350 XWB and A320neo.



Figure 4 – The Airbus A321neo has undergone a water impact test as part of its certification campaign

Airbus' flagship of the 21st century, the A380, was certified by two major international governing bodies—the European Union's Aviation Safety Agency (EASA) and the US Federal Aviation Administration (FAA) – in December 2006 in a program that began more than five years ago. In the end, the raid totaled more than 2,600 hours with a fleet of five test aircraft.

To ensure the reliability of the A350 XWB since it entered commercial service in January 2015, Airbus has implemented one of the most rigorous test programs ever developed for a jet airliner. The A350-900 flight test and certification program, which lasted just over 14 months, an industry record, included a fleet of five aircraft that completed more than 2,600 flight hours, with type certification received from EASA and the FAA in September and November 2014, respectively.

Testing and certification of the A320neo family of jetliners included six versions: the A319neo, A320neo and A321neo underwent airframe, systems and two powerplant options offered on each aircraft type: CFM International's LEAP-1A and Pratt & Whitney PurePower PW1100G-JM engines. The companies also confirmed that the aircraft meets the targets for fuel consumption and range – based on the choice of latest generation engines and large Sharklet wingtips.

## 5.2 Structural static tests

In preparation for first flight, new production jetliners such as the double-decker A380 and the new generation A350 XWB are subjected to structural static tests, which include: flight test rig (FTI) calibration tests, maximum wing deflection at ultimate load and interceptors at maximum wing deflection (Figure 5), fuselage pressure testing, fatigue testing and simulation of flight cycles.



Figure 5 – A350 XWB wings tested at ultimate load, showing wing tip deflection of five meters

Fatigue tests examine how an aircraft structure responds to loads over a long period of time and during various phases of its operation, such as taxiing, takeoff, cruise and landing. To reproduce these conditions, a cargo system is placed on the glider, actuated by computer-controlled hydraulic jacks.

For example, the fatigue tests of the A380 lasted 26 months and lasted 2.5 times longer than planned by design services.

In total, during the tests, 47,500 flight cycles were completed: 2.5 times more than the number of flights that the A380 would make in 25 years of

operation. A 16-hour flight was simulated in just 11 minutes. The tests pushed the aircraft's design to the limit to see if the design needed any improvements. Final testing and preparation for flight is a phase that includes calibration of instruments, testing of cabin tightness and testing of navigation systems.

### 5.3 Flight test campaign

The aircraft's flight test program is designed to evaluate the aircraft's overall handling qualities, operational characteristics, aerodrome noise and system performance under normal conditions, failure scenarios and extreme conditions, and culminates in airworthiness certification.



Figure 6 – Airbus A350 XWB undergoing two weeks of testing at the McKinley Climate Laboratory in Florida, USA

To test the A380 in extreme weather conditions, Airbus sent the double-decker from Northern Canada to the hot desert of the Persian Gulf and to the hot and mountainous regions of Ethiopia and Colombia; while the A350 XWB evaluations included cold weather testing in Iqaluit, Canada; altitude assessments in La Paz, Bolivia, hot weather work in Al Ain, United Arab Emirates.

In addition, the A350 XWB became the first Airbus aircraft to visit the McKinley Climate Laboratory in the US state of Florida (Figure 6). In this unique location, the liner was exposed to various climatic conditions – from 40° to minus -40°C in a climate-controlled hangar.

Further certification flight tests were devoted to water ingress, low-speed take-off, flutter and aborted take-off and landing tests. In addition to the vortex wake tests – the turbulence of air created behind the aircraft during take-off –

required for certification, Airbus has carried out a series of tests and measurements in this area.

Certification flight tests of the A320neo family included testing the new generation LEAP-1A and PurePower PW1100G-JM engines, including their fuel economy and lower environmental impact through reduced nitrogen oxide emissions and engine noise. In addition, the controllability and flight characteristics of the aircraft were checked, as well as the operation of such systems as the autopilot.

#### **5.4 Certification**

Certification is a regulatory obligation that certifies all aircraft, their engines and propellers. A "Type Certificate" issued to confirm the airworthiness of an aircraft design is followed by a "Certificate of Airworthiness" which allows the aircraft to be operated in certain countries or regions.

The certification process covers the entire development process of a new aircraft. It includes different stages:

- Detailed review of the project;
- Examination of test results and participation in laboratory studies;
- Review of tests and participation in flight tests (to take into account changes based on the results of research),
- Aircraft operators (take an active part in defining the design, development and implementation of services).

The competent authorities of each geographic jurisdiction oversee the certification process. Today, there are two main aircraft certification systems:

- FAR 25 rules apply to the USA,
- For the European Union – JAR 25 regulations.

Each authority has the right to demand certain conditions, while the aircraft manufacturer must always pFTS in advance for certification by the importing countries.

In addition to the successful flight tests, further highlights of the A380's commissioning were airport compatibility tests: a total of 38 airports visited around the world. The aircraft have demonstrated the ability to perform similarly to similar counterparts already in service.

For the A350 XWB, the global route validation tour – one of the final steps towards certification – saw the high-performance airliner visit 14 major airports on four different flights, covering a total of around 81,700 nautical miles in 180 flight hours.

Another important aspect of the A380 and A350 XWB trials were the Early Long Flights (ELF) programs, which went beyond certification requirements. For these evaluations, a flight test aircraft equipped with a cockpit was operated on simulated commercial flights with real "passengers" (Figure 7) consisting of Airbus employees and real airline flight crews to evaluate the cockpit systems under typical operating conditions (Figure 7).



Figure 7 – Airbus "Early Long Flights" tests the cabin, technologies and systems of the new aircraft under normal operating conditions

## Laboratory work No. 1

### CONTROL OF THE HERMETICITY OF STRUCTURES

**The purpose of the work:** to get acquainted with the main methods of controlling the tightness of structures and the principle schemes of the implementation of control.

#### Theoretical information

In real hermetic structures, there are leaks with the amount of inflow in a wide range of values (from  $1.33 \cdot 10^{-13}$  to  $1.33 \cdot 10^{-3}$  mm<sup>3</sup> MPa / s). Currently, there is no method that can effectively control tightness over such a wide range of currents. Moreover, a number of highly sensitive methods (halide, mass spectrometric, radiation, etc.) become ineffective in the presence of gross leaks, which lead either to "poisoning" of leak detector sensors (halide method), or to contamination of the atmosphere of the room in which the tests are conducted. Therefore, control of the tightness of structures is carried out by several methods in two or more stages. This allows you to use the control equipment in the optimal operating range for it and to apply more productive methods for preliminary inspection. Even at the stage of control with high sensitivity, for example, using mass spectrometric flow detectors, several cycles are provided with a gradual increase in sensitivity to the required value.

Usually, when controlling the tightness of structures, compression methods are first used: pneumatic, hydrostatic or pneumohydraulic. Control of tightness by these methods is in some cases combined with testing the strength of structures. At the same stage, it is possible to use a chemical or luminescent method. In the future, depending on the requirements for the control object, the haloid or mass spectrometric method is used. These highly sensitive methods can also be preceded by monitoring with gas analytical leak detectors to detect gross leaks.

The sensitivity of the selected control method must be two or more times higher than the tightness of the object specified by the technical conditions.

#### ***Requirements for premises, equipment and technological equipment***

When checking the tightness of structures, special requirements are placed on the room in which the tests are carried out. In the presence of a significant amount of indicator substances (freon, helium, ammonia, radioactive elements and others) in the atmosphere of the room, the readings of the leak detectors will be inaccurate, and in some cases even erroneous. Therefore, the control of the tightness of units and systems should be carried out in a special separate room with forced supply and exhaust ventilation, which ensures the normal performance of leak detectors at a temperature of  $293 \pm 5$ K.

If the control is carried out by the mass spectral method using helium as an indicator gas, then the highest content of helium in the room should be no more than 1.5 of the normal peak at 10-15 times the air exchange per hour. A

helium peak is considered normal if its content in the air corresponds to  $5 \cdot 10^{-4} \%$ . This is achieved with the help of supply-exhaust ventilation.

When controlling the tightness by the halogen method, the content of freon in the atmosphere of the room should be less than that induced by the leak detector when working on the most sensitive scale. Accordingly, with chemical, radiation and other methods, the indicator mass, film, counter should not react to the atmosphere of the room in which the control is carried out.

The test room is equipped with an independent system that ensures blowing with air-helium, air-freon and other mixtures and excludes the ingress of indicator gas into the room for control, as well as a system for collecting the indicator mixture for repeated tests or a system for the regeneration of indicator gas. The distance between the holes for drainage and air intake during forced supply-exhaust ventilation should be at least 10...20 m to exclude the intake of air emitted during drainage.

In the room, create a central dilution of clean dry air or technically pure nitrogen with a dew point not higher than 233 K, as well as autonomous communications of a three-phase network with a voltage of 220 or 380 V with grounding. The room in which tightness control is carried out must be adapted for wet cleaning and complete degassing from indicator substances (tiled floors, walls and ceilings are painted with oil paint, etc.).

Leak detectors, vacuum meters, pumps, all special equipment and other equipment must correspond to drawings, have passports, certificates or other technical documentation. They should be checked in time and operated in accordance with the requirements of the operating instructions. When designing the equipment necessary for the creation of storage objects, one should strive to ensure that the absolute storage volume is minimal, and the gap between the surfaces forming the storage volume is uniform.

Technological equipment (plugs, fittings, bushings, kerchiefs, etc.) is manufactured with the necessary margin of strength so that it is not damaged when installed on structural elements. During the tests, it is necessary to use only copper-plated tared and ordinary keys.

During the control, it is necessary to ensure the measurement of the concentration of the indicator gas in all parts of the containers and dead-end ends of the chimney

During the control, it is necessary to ensure the measurement of the concentration of the indicator gas in all parts of the containers and the dead-end ends of the pipelines, as well as the possibility of diverting part of the indicator mixtures from the dead-ends to the drain in order to equalize the concentration of the indicator gas throughout the inspected object.

Elements of equipment, equipment and tools are chromed, blued or painted in light tones.

### ***Preparation of structure surfaces for testing***

Surfaces of structures that are prepared for tightness tests must be



manufactured in accordance with technical conditions, requirements of drawings, accepted by control services and accompanied by necessary documentation. Before carrying out the tightness control, the surfaces of the products must be tested for strength with liquid or air, if this is provided for by the technical requirements.

Preparation of the surface of the responsible structures for tightness tests includes cleaning, degreasing and removal of liquid from leak channels. Alkaline solutions and organic solvents are used for cleaning and degreasing the external surfaces of objects. Products with galvanic, chemical or anodic coatings are cleaned and degreased in organic solvents. Small products are cleaned and degreased by immersion in baths. Large products, for which this method is unsuitable, are cleaned and degreased by the jet method or by wiping with napkins moistened with an organic solvent (acetone, gasoline, perchlorethylene, etc.).

Liquid from leaks is removed after drying the external and internal surfaces by one of the following methods: convective, temperature, temperature-vacuum (general vacuuming), one-sided vacuuming, exposure to natural conditions, combined. When choosing a method, the design features of the product and the technical requirements for it are taken into account; equipment and equipment available at the enterprise; production and economic factors.

The method of removing liquid from voids by keeping the product in natural conditions is used after treating its surface with volatile organic solvents. The rest of the listed methods are used after the effect of water-based cleaning and degreasing agents or after a strength test by hydraulic pressing.

The convective method consists in heating the product by blowing hot air through its internal cavity. The temperature of the air for blowing the products should not exceed the permissible temperature for the product according to the Technical Specifications. Blowing products with hot air is used in a workshop or a special chamber equipped with artificial or natural ventilation. This method must meet the requirements of industry standards.

The temperature method consists in heating the product in a thermal chamber or a thermal cabinet, which must have natural or artificial ventilation.

With the temperature-vacuum method, the product is placed in a thermal chamber, where it is heated and vacuumed. To remove liquid from leaks, the heating device is first turned on, and after reaching the required temperature, the vacuum pump is turned on and the necessary residual pressure is obtained.

The one-sided vacuuming method is used when vacuuming the inner cavity of products or the outer space. At the same time, the product must be placed in a thermal chamber. Air humidity in the workshop should not be higher than 80%. Removal of liquid from leaks by vacuuming the external space is carried out in a thermal chamber or a pressure chamber with blowing of the internal cavity of the product with heated air. In large-sized products, it is allowed to carry out external

vacuuming of only the most important areas, for example, welds. In this case, small vacuum suction cups are used.

When using the method of keeping the product in natural conditions, liquid removal from leaks is carried out at an air temperature in the room not lower than 293 K and a relative humidity not higher than 60%. Keeping the product in natural conditions continues until the liquid is completely removed from the voids.

Removal of moisture from leaks by a combined method is carried out by sequential application of several methods. The combined method is used in the following cases: if according to the technological cycle there is a long period of time between the operations of liquid removal from leaks and tightness tests or if the throughput capacity of the technological equipment available at the enterprise is insufficient.

### ***The procedure for performing tightness control by different methods***

#### *Compression methods of tightness control*

When checking the tightness of structures, compression methods (pneumatic, hydrostatic, pneumohydraulic) are used beforehand. Depending on the requirements for the conducted control, the haloid or mass spectrometric method is used in the future.

With the pneumatic test method, the controlled object is filled with air or nitrogen under excess pressure specified in the technical specifications. An indicator substance is applied to the outer surface of the object. In the presence of a leak, the indicator gas, penetrating through it, forms bubbles, which qualitatively assess the tightness of the object. Quantitative evaluation of the overall tightness is carried out by measuring the pressure drop over a certain period of time with subsequent conversion to the amount of leakage

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

where  $\tau$  – pressure drop measurement time.

In the case of the hydrostatic method, a liquid (2...5% solution of chromium peak of potassium dichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ) in water, kerosene, oil, water mixture, etc. is poured into the object of control and excess pressure is created. After a certain period of time, the inspecting or applying filter paper to the surface of the joint being tested. The tightness of the object is evaluated based on the presence or absence of liquid droplets on the inspected surface ("fogging") or stains on the filter paper, which is used as an indicator. The amount of leakage is determined by the amount of liquid, which has leaked, and sometimes its collection:

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

where  $V_p$  – the volume of liquid that leaked out;  $\tau$  – observation time.

For the convenience of indicating leaks, in a number of cases, a chalk

coating with a thickness of 40...60 microns is previously applied to the external surface of the controlled object. For smearing, a cream-like aqueous solution of chalk is prepared and applied with the help of a stiff hair brush or in any other way in a thin, even layer on the surface and dried. The volume of leaked liquid is determined by weighing the filter paper before and after collecting the leaked liquid:

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

where  $m_1$ ,  $m_2$  – mass of paper, respectively, before and after liquid collection;  
 $\gamma$  – liquid density.

With the pneumohydraulic method, excess air or nitrogen pressure is created in the structure being tested and immersed in a bath with a liquid (a 2...5% solution of chromium peak ( $K_2Cr_2O_7$ ) in water, alcohol, etc.) Depth immersion in water – 3...5 mm. Indication of leaks is carried out by the frequency of appearance and diameter of gas bubbles arising in places of currents.

To obtain clean transparent water, add aluminum ammonium alum  $NH_4Al(SO_4)_2$  at the rate of 500 g of alum per 3 liters of water. After thorough mixing and standing for 1-1.5 days, the water is ready for use.

The amount of leakage is approximately determined by the formula

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

where  $d_0$  – diameter of the bubble at the time of separation;  
 $\tau_0$  – time until the bubble breaks.

Compression methods of tightness control are widespread due to their simplicity, visibility, the possibility of inspecting the entire surface of the object at the same time, and the low cost of materials and equipment. Disadvantages of this method are: subjectivity of evaluation, high labor intensity and long control cycle, low sensitivity. In addition, when using kerosene as an indicator substance, there is a fire hazard in the test area.

#### *Haloid method of tightness control and leak detection*

The method is based on recording the emission of positive ions in a flow diode. For this, a type of emission is used, in which the heated electrode is positive relative to other elements of the lamp.

A platinum anode heated to a temperature of 1073...1173 K emits positive ions that can be registered at atmospheric pressure. The emission of positive ions increases sharply in the presence of gases containing halogens. The principle of operation of the halogen leak detector is based on this property, which is observed both at atmospheric pressure and in conditions of a certain vacuum. The sensitive element of the halogen leak detector sensor is a platinum current diode. A halod leak detector can detect the content of halods in the air at a concentration of  $10^{-6}\%$ .

Halogenated hydrocarbons are most often used as indicator gases in the

halo method of tightness control – freon 12 (CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), freon 13 (CF<sub>3</sub>Cl), freon 22 (CMF<sub>2</sub>Cl), as well as hexafluoride sulfur SF<sub>6</sub>. Freons are chemically inert and low-toxic substances. As the number of fluorine atoms increases, the toxicity and reactivity of freons to metals decreases.

*Mass spectrometric method of tightness control and leak detection*

The mass spectrometric method of leak detection is one of the most sensitive and universal methods for checking the tightness of structures. It is based on the registration of tracer gas ions that entered the vacuum chamber of the leak detector through the through defects of the monitored object. In mass spectrometry, mixtures of gases or vapors are separated by mass using electric and magnetic fields.

A mass spectrometric leak detector is a simplified mass spectrometer configured to detect very small amounts of tracer gas.

To work with mass spectrometric flow detectors, helium is most often used as an indicator gas. There is little of it in the atmosphere

(5·10<sup>-4</sup> %) and tested objects. A positive property of helium is also its inertness, as a result of which it is absolutely harmless and safe to work with. Helium-air and helium-nitrogen mixtures can also be used as an indicator gas.

One of the main parameters that determine the possibility of using leak detectors to solve the problems of controlling the tightness of structures is its gas analytical sensitivity  $D_{min}$ , which is characterized by the lowest recorded concentration of the indicator gas in the analyzed gas mixture:

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

where  $P_{min}$  – total pressure of the analyzed gas mixture;

$P_{\Sigma}$  – the lowest registered partial pressure of the indicator gas in the analyzed mixture.

In the first industrial mass spectrometric flow detectors (PTI-1, PTI-4, PTI-6) gas analytical sensitivity  $D_{min} = 10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-7}$  at the total gas flow  $\Pi_{min} \approx 0,266 \text{ mm}^3 \cdot \text{MPa/s}$ .

In the following models of leak detectors, the sensitivity has been significantly increased:

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

The most common types of mass spectrometric tightness control are the following: blowing the controlled surface with an indicator gas, dipstick, accumulation at atmospheric pressure, accumulation in a vacuum.

Accumulation control at atmospheric pressure is the most sensitive when controlling tightness by the mass spectrometric method. It is used to determine the degree of tightness (total leakage due to all available through-flows) of the tested structure.

The essence of control of tightness by accumulation at atmospheric pressure is as follows: a closed protective hermetic volume of accumulation is

created around the object being checked. This object is filled with an indicator gas (helium, helium-air or helium-nitrogen mixture) to the excess pressure specified in the technical conditions for testing this object. In the presence of leaks, the indicator gas penetrates into the closed storage volume, and its concentration in this volume increases. With a medical Leuer needle mounted on a probe connected by a hose to a leak detector, readings corresponding to a certain concentration of helium in a given area of the storage volume are recorded. The concentration of helium in the storage volume is compared with that specified in the technical conditions and the compliance of the inspected object with the airtightness requirements is determined.

When checking the tightness of the flanged connections of pipelines (Figure 1.1), the accumulation volume 5 is created between the flanges 1 by sealing with a special tape 4 along the outer perimeter of the flanges. An excess pressure of indicator gas is created inside the pipeline. In the presence of currents in the connection, the indicator gas penetrates into the storage volume (inter-flange space). After a certain period of time, a medical Leuer needle 2 mounted on a probe 3 is inserted into the storage volume by piercing the tape, and the concentration of the indicator gas in the volume is measured during the storage time.

When checking the tightness of the pipelines (Figure 1.2), the accumulation volume 7 is created around the tested pipeline 6 by gluing the film 2 to the technological equipment 5 with an adhesive tape 1, for example, PCS. The equipment has a fitting 4 for filling the pipeline with indicator gas under excess pressure.

If there are currents in the material of the pipeline walls or in the welded joint, the tracer gas penetrates into the storage volume. After a certain period of time, a Leuer needle 3 is inserted into the accumulation volume by piercing the tape and the concentration of the indicator gas is measured.

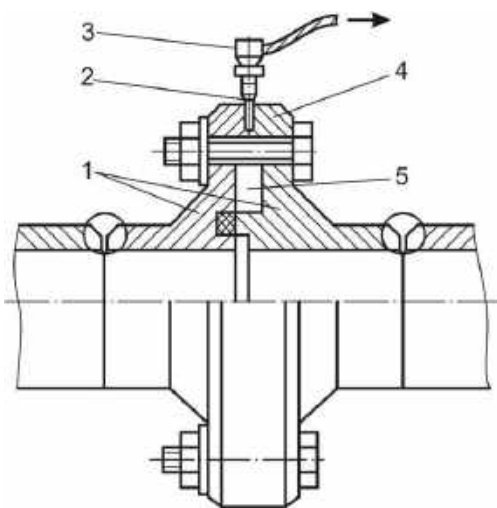


Figure 1.1 – Control scheme tightness of flange connections pipelines

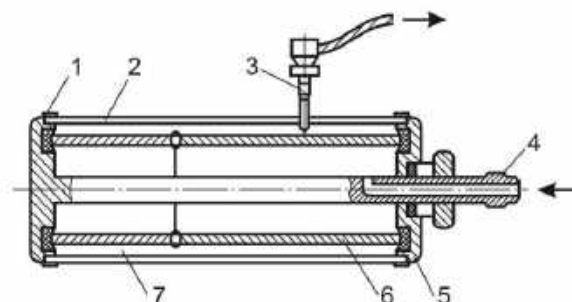


Figure 1.2 – Schematic diagram of pipeline tightness control

The schematic diagram of the collector tightness control is shown in Figure 1.3.

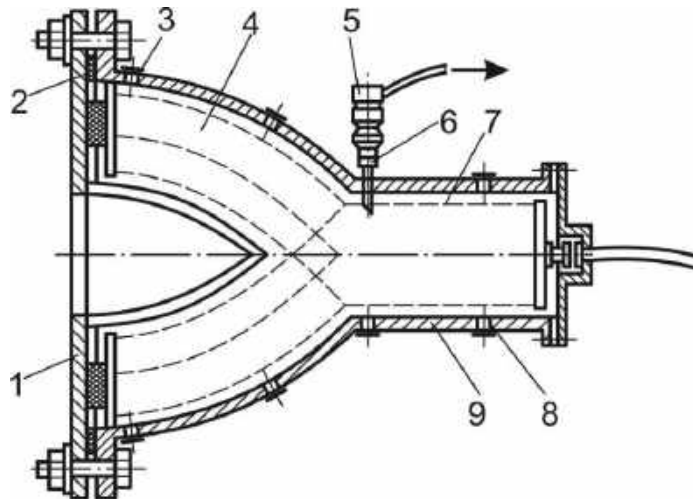


Figure 1.3 – Schematic diagram of collector tightness control:  
 1 – flange; 2 – gasket; 3 – plug; 4 – collector; 5 – probe; 6 – Leuer's needle;  
 7 – accumulation volume; 8 – sealing tape; 9 – technological equipment

The concentration of the indicator gas in the volume of accumulation is measured similarly to the previously considered examples. Control of the helium concentration is carried out by comparing the readings of the leak detector in relation to a specially prepared reference mixture with the readings of the leak detector in relation to the indicator gas in the storage volume being checked.

To prepare a reference mixture, a pre-vacuum tank, usually made of stainless steel, is filled with air or nitrogen, then with the help of a medical syringe a certain amount of helium  $V_p$  is injected into it, which is determined by the formula

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

where  $C$  – the required concentration of helium in the reference mixture, %,  
 $V_e$  – the volume occupied by the reference mixture,  $\text{sm}^3$ .

Helium concentration is used to prepare the reference mixture  $1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3} \%$  in air.

The limit sensitivity of the accumulation method at atmospheric pressure corresponds to the concentration of helium in the accumulation volume, which is equal to  $2.5 \cdot 10^{-4} \%$ .

### Control questions

1. What are the features of preparing the surfaces of structures for testing?
2. What types of compression methods of tightness control do you know?
3. Name the indicator gases in the halo method of tightness control.
4. What are the types of mass spectrometric control?
5. What are the features of checking the tightness of flanged joints?
6. Describe the technology of monitoring the tightness of pipelines and collectors.

7. What is the sensitivity of the accumulation method and other methods of mass spectrometric control of tightness?
8. What are the requirements for premises, equipment and technological equipment?

**Laboratory work No. 2**  
**CALCULATION OF AC SOLENOIDS**  
**FOR MAGNETIZATION AND DEMAGNETIZATION OF STEEL PARTS**  
**UNDER MAGNETIC CONTROL**

***The goal of the work:***

1. Familiarization with the method of calculating solenoids.
2. Performing calculations of solenoids for magnetization and demagnetization of parts that are different in configuration and size.

**Theoretical information**

**Basic provisions**

Magnetic defectoscopy is the study of magnetic field distortions that have arisen in places of defects in products made of ferromagnetic materials (for example, structural steel).

Installations for magnetic control are placed in a separate room. Their location in the production flow is allowed, provided that the area designated for these installations does not border on areas of high dust content and has an area of at least 10...15 m<sup>2</sup>. To control large and heavy parts, a lifting crane must be installed above the flaw detector.

The equipment of the magnetic flaw detector must include a device for regulating the current and an ammeter for direct measurement of the current in the magnetizing circuit. To control parts of complex shape and large sizes, defectoscopes are equipped with particularly flexible wires with a cross-section of 100...200 mm<sup>2</sup>. The required power of flaw detectors for circular magnetization is set based on the cross-sectional dimensions of the parts being tested. The maximum current in flaw detectors for circular magnetization can vary from 50 to 10,000 A at an open-circuit voltage of up to 24...36 V. Magnets for magnetizing and demagnetizing elongated parts should have a magnetic field of at least 150 oersted when the part is inserted. For disc magnetization, the field strength in the solenoid must be at least 400...450 oersted, and for demagnetization - no less than 200 oersted.

The magnetic field strength in the solenoid is generally described by the formula

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

where  $H$  – magnetic field strength, E;

$K$  – permanent value of solenoid, which depends on the size of the solenoid and the number of its turns;

$I$  – current flowing through the solenoid winding, A.

The reduction of the alternating current in the solenoid when a ferromagnetic part is added to it depends on the following factors:

- part forms;
- the dimensions of the part compared to the dimensions of the solenoid;



- the number of turns of the solenoid;
- grades of steel and its heat treatment.

Calculation of solenoids is carried out based on the following values:

- network voltage;
- the intensity of the magnetic field in the center of the solenoid when the part is introduced;
- part size;
- cross-sectional shape of the part;
- the purpose of the solenoid.

The calculation of the solenoid is reduced to the definition:

- dimensions of its winding, i.e. its length and cross-section;
- the number of its turns;
- cross-section of the winding wire.

The design scheme of the solenoid is shown in Figure 2.1.

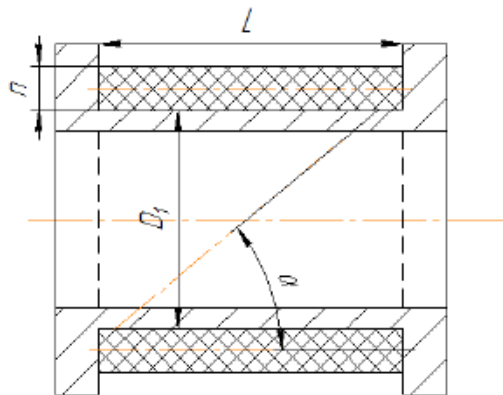


Figure 2.1 – Solenoid design scheme

### ***Influence of the shape of the part when calculating alternating current***

As a result of the surface effect, the shape of the part affects the distribution of the magnetic flux between the part and the air medium of the solenoid. Therefore, when parts of the same cross-section, but of different shape, are introduced into the solenoid, the amount of current reduction will also be different, which is confirmed by the conducted experiments. For example, when inserting a part with a double cross-section into the solenoid, the current decreases by about 30% more than in the case of a part with a round cross-section of the same size. Inserting a massive ingot and a pipe of the same external diameter with a wall thickness of more than 3 mm into the solenoid leads to approximately the same reduction in current, despite the fact that the cross-section of the ingot is several times greater than the cross-section of the pipe.

In this regard, it is necessary to introduce a correction factor that takes into account the influence of the cross-sectional shape of the part on the amount of current reduction in the solenoid. Given the various cross-sectional shapes of the parts subject to magnetic control in the solenoid, it is impractical and cumbersome to determine this coefficient for each shape of the part. It is found

experimentally for the most common, typical cross-sectional shapes. Other parts with a certain degree of accuracy belong to one or another group of parts.

A part with the simplest cross-sectional shape, for example, a continuous cylinder of the correct shape with a cross-section in the form of a circle, is taken as a unit, that is, as a standard. By comparing the magnitude of the current in the solenoid when a part of a different shape is inserted into it, we obtain the correction coefficient of the shape of the cross section of the part, which is calculated according to the formula

$$\varphi = I_{st}/I_p, \quad (2.2)$$

where  $I_{st}$  – current in the solenoid when the reference part is introduced;

$I_p$  – current in the solenoid when a part of a certain shape is introduced.

The most typical forms of sections of parts are shown in Figure 2.2.

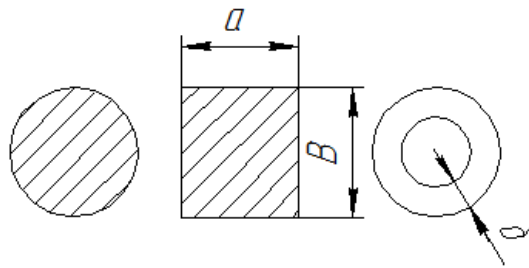


Figure 2.2 – Forms of cross sections

### ***Determination of calculated values of the part***

Massive parts without holes and a simple cross-sectional shape (circle, polyhedron) are taken as a unit – the standard against which all other parts are compared. Therefore, the calculated section of these parts is equal to their cross-sectional area without any corrections, that is, their coefficient  $\varphi$  is equal to one.

The calculated cross-section of hollow parts of a simple shape is equal to the cross-sectional area calculated from the external dimensions of the cross-section without taking into account any holes present in it and multiplied by the correction factor (Table 2.1). The value of this coefficient is displayed on the curve shown in Figure 2.4, and the curve is constructed based on the results of an experiment conducted with samples whose cross-sectional shapes are shown in Figure 2.2.

Table 2.1 – Correction coefficient of the cross-sectional shape of the part

$a/b$	1	1,5	5	10	50
$\varphi$	1,03	1,04	1,13	1,23	1,44
$\delta$	0,75	5	6	10	20
$\varphi$	0,78	0,94	0,95	0,97	1,03

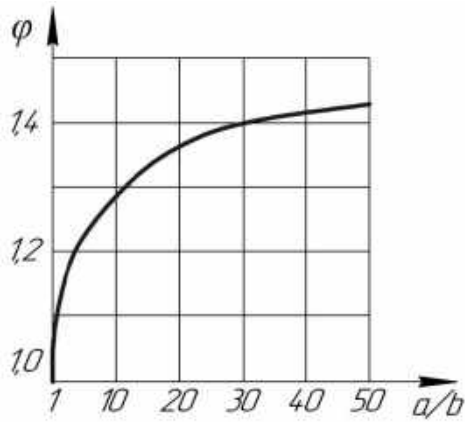


Figure 2.3 – Dependence of the coefficient of the shape of the cross-section of the part on the ratio of the larger side of the rectangle to the smaller

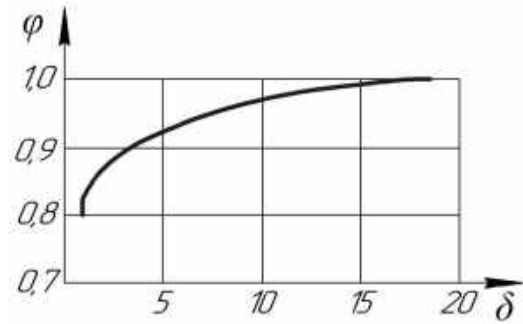


Figure 2.4 – Dependence of the cross-sectional shape coefficient of the part on the wall thickness of hollow parts

Thus, the calculated section of hollow parts of a simple shape is determined by the formula

$$Q_{part} = \varphi_3 \cdot S, \quad (2.3)$$

where  $S$  – cross-section of the part without taking into account any holes present in it.

The calculated cross-section of parts with rectangular and square cross-sections should be determined according to formula (2.3), and the value of  $\varphi$  – according to the curve in Figure 2.3.

The formula for determining the design section will look like this:

$$Q_{part} = \varphi_3 \cdot \varphi_4 \cdot S. \quad (2.4)$$

The calculated section of disc parts is equal to the thickness of the disc multiplied by its diameter. The length of the part is determined by dependence

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

### **Determining the dimensions of the solenoid**

To calculate the dimensions of the solenoid, you need to know the following values:

1. The filling factor of the solenoid with the part according to its cross-section, which is equal to the ratio of the calculated cross-section of the part  $Q_{part}$  to the cross-section of the solenoid  $Q$ , calculated from its internal dimensions; in the case of a circular cross-section  $Q_{part} = \pi \cdot D_{part}^2 / 4$ , and rectangular –  $Q_{part} = s \cdot e$  ( $s, e$  – sides of the rectangle). We denote this coefficient by a letter  $a$ , then

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

2. The filling factor of the solenoid along its length, which is equal to the ratio of the calculated length of the part to the length of the solenoid.

We denote this coefficient by a letter  $b$ , then

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

3. The coefficient of current reduction when a part is introduced into the solenoid, which is equal to the ratio of the current in the solenoid without the part  $I_0$  to the current in the solenoid with the part  $I$ . We denote this coefficient by a letter  $c$ , then

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

Functional dependencies of all coefficients are shown in Figures 2.5, 2.6. The graphs shown in Figure 2.5 are intended for determining the coefficient when calculating a solenoid that is powered from a 220...380 V network, and the graphs in Figure 2.6 are from a network up to 28 V.

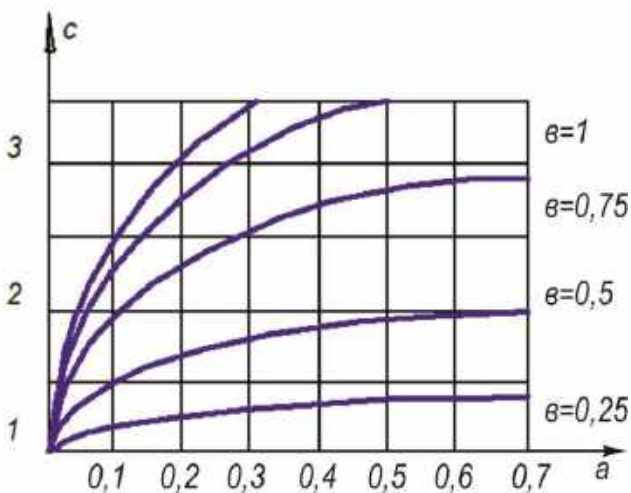


Figure 2.5 – Functional dependence of the coefficients  $c$  and  $a$  on  $c$  at a voltage of 220...380 V

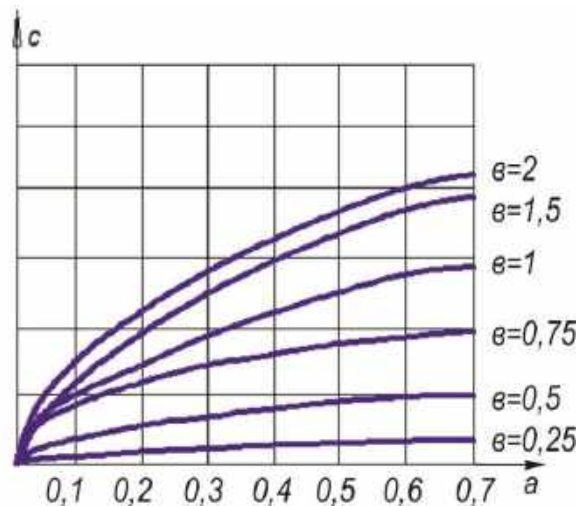


Figure 2.6 – Functional dependence of the coefficients  $c$  and  $a$  on  $c$  at a voltage of 28 V

### Methodology and order of calculations

Output data

$D_{part}$  – circular section;  $s, e$  – rectangular section;  $D_{part}, \delta_{part}$  – ring section;  $L_{part}$  – the length of the part;  $U$  – network voltage, V;  $H$  – magnetic field strength, E;  $I$  is the current in the solenoid when the part is inserted into it, A; the purpose of the solenoid is to demagnetize or magnetize parts.

#### Calculation of the dimensions of the solenoid winding

1. First, you need to find the calculated section of the part ( $Q_{part} = \pi \cdot D_{part}^2 / 4$  – round section;  $Q_{part} = s \cdot e$  – rectangular).

2. Next, you need to choose the numerical value of the coefficient  $c$ . At the same time, it must be taken into account that if its value is small, during the introduction of the part into the solenoid, the current will decrease less. However, this leads to a significant increase in the size of the solenoid, which requires more copper wire and more energy consumption. Therefore, it is recommended to

choose the  $c$  value as follows: when supplying  $U=220...380\text{ V}$  –  $c=1.5...2$ ; at  $U=28\text{ V}$  –  $c=1.2...1.5$ .

3. Depending on the selected coefficient  $c$  and voltage  $U$  according to Figure 2.5 or 2.6, it is necessary to determine the coefficient  $a$ . Knowing the coefficient  $a$ , you can find the cross section of the solenoid  $Q = Q_{part}/a$ .

4. The value of the coefficient  $b$  of the solenoid, intended for magnetizing and demagnetizing parts by reducing the current in the solenoid to zero, must be selected in the range  $b=0.25...1$ . After that, you can find the length of the solenoid  $L = L_{part}/b$ .

### Calculation of the number of solenoid turns

The number of solenoid turns is determined by the formula

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

where  $p$  is a correction factor that depends on the shape of the solenoid, that is, on the ratio of the internal diameter  $D$  of the solenoid to its length  $L$ ;  
 $U$  – network voltage,  $V$ ;  $f$  – network frequency,  $Hz$ ;  
 $Q$  – solenoid cross-section,  $cm^2$ ;  $H'_0$  is the estimated magnetic field strength,  $E$ .

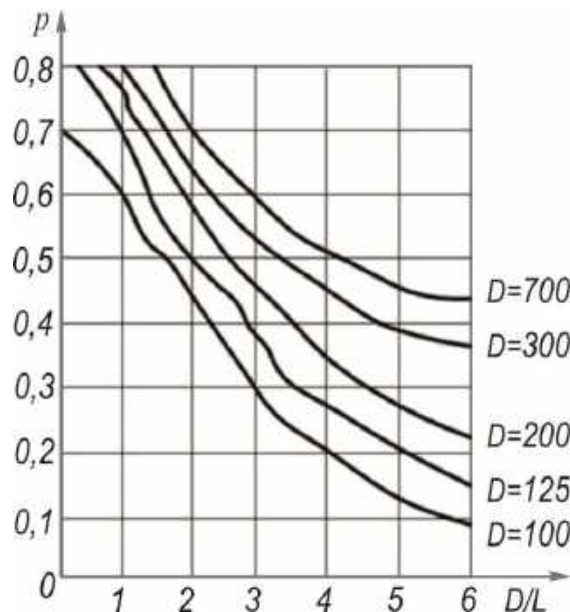


Figure 2.7 – Dependence of correction coefficient  $p$  from the shape of the solenoid

The correction factor is chosen according to the curves shown in Figure 2.7.

For a network with a frequency of 50 Hz, formula (2.9) takes the form

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

The internal diameter of the solenoid

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

Calculated magnetic field strength

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

After determining the number of turns, it is necessary to calculate the calculated current in the solenoid without the inserted part:

$$I_0 = c \cdot I.$$

Next, it is necessary to adjust all previously obtained values. Effective current reduction factor

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

The coefficient is selected from Table 2.2.

Number of turns

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

Current

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

Tension

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

Table 2.2 – Actual values

$\omega$	$g$	$\omega$	$g$	$\omega$	$g$	$\omega$	$g$	$\omega$	$g$
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

### **Calculation of the section of the solenoid winding wire**

The number of ampere-turns required to create the estimated magnetic field strength is calculated using the formula

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

or

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

where  $D_0$  – the average diameter of the solenoid.

When calculating ampere-turns, the thickness  $h$  of the winding is set, and after its placement, it is calculated according to the expression

$$h = n_w \cdot d_{ins}/\gamma, \quad (2.19)$$

where  $d_{ins}$  – diameter of the insulated wire;

$\gamma$  – stacking density factor ( $\gamma = 0,85...0,9$  for solenoids of rectangular and round sections, respectively);

$n_w$  – the number of winding layers.

Knowing the number of ampere-turns, the required current in the solenoid is determined by the formula

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

Based on the current density  $\delta_0$ , the cross-section of the wire is found

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

It is recommended to choose the current density in the range  $\delta_0 = 15 \dots 18 \text{ A/mm}^2$ , taking into account the short duration of operation of the solenoid.

In the case of multi-layer winding, it is necessary to isolate one layer from another with any insulating material.

The number of turns  $n_s$  in the layer is determined by the formula

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

where  $\Delta$  – winding density factor ( $\Delta = 0,95 \dots 0,98$  with manual and machine winding, respectively);

$L$  –solenoid length, mm.

The number of winding layers is calculated using the expression

$$n_w = \omega/n_s. \quad (2.23)$$

To calculate alternating current solenoids according to the task given by the teacher, you should know: voltage, magnetic field strength in the center of the solenoid, dimensions of the part, cross-sectional shape of the part, purpose of the solenoid.

### Control questions

1. What are the features of using the magnetic method?
2. Name the objects of control, their characteristics.
3. What effect does the shape of the part have on the calculation of an alternating current solenoid?
4. How to determine the filling factor of the solenoid with the part?
5. How to choose the value of the current reduction factor?
6. How to determine the magnetic field strength of solenoids?
7. How to choose the voltage of the network that feeds the solenoid?

### Laboratory work No. 3

## MAGNETIC PARTICLE TESTING OF THE FERROMAGNETIC PARTS INTEGRITY

### *The goal of the work:*

1. Familiarize with the procedure for identifying ferromagnetic parts integrity using magnetic particle testing.
2. Learn the procedure for conducting magnetic particle testing and rejecting parts.

### Theoretical information

Magnetic particle testing is used for the testing of materials which can be easily magnetized. This method is capable of detecting open-to-surface and just be-low-the-surface flaws. In this method the test specimen is first magnetized either by using a permanent magnet or an electric current through or around the specimen. The magnetic field thus introduced into the specimen is composed of magnetic lines of force. Whenever there is a flaw which interrupts the flow of magnetic lines of force, some of these lines must exit and re-enter the specimen. These points of exit and re-entry form opposite magnetic poles and whenever minute magnetic particles are sprinkled onto the surface of the specimen, these particles are attracted by these magnetic poles to create a visual indication approximating the size and shape of the flaw. Figure 3.1 (a and b) illustrate the basic principle of this method.

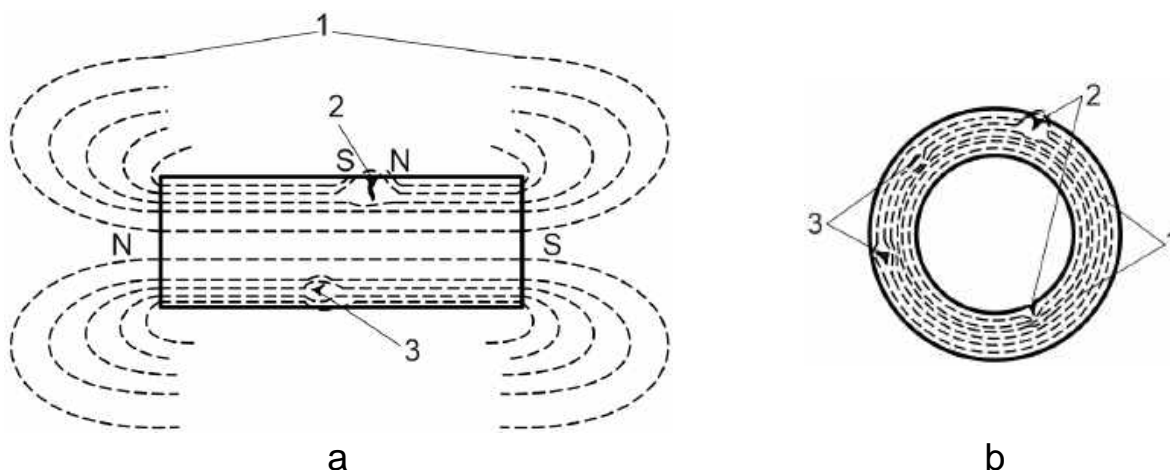


Figure 3.1 – The effect of defects on the flux flow in a magnetized ring:  
1 – flux flow lines; 2 – crack; 3 – deep lying flaw

In this laboratory work, magnetic particle testing is demonstrated on the example of the main gear frame mounting bolt of the Mi-8 helicopter.

Nondestructive testing of the aircraft parts is carried out according to the instructions provided by the aircraft developer. This instruction book contains all the information related not only to nondestructive testing of the main gear frame parts, but also to disassembling, cleaning, troubleshooting, painting, etc. of the said parts.



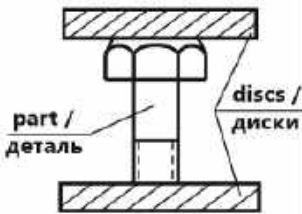
Операційна карта лабораторної перевірки										№			
Вид робіт		Магнітний контроль болтів редукторної рами						Шифр					
Операція №		Найменування деталі		Номер деталі		Матеріал		Твердість		Кіл-сть		Розряд	
Bolts / болти		8A-0800-08 8A-0800-02		18X2H4BA 30XГСА		120±10 кг/мм <sup>2</sup> 110±10 кг/мм <sup>2</sup>		14 12					
Sketch / ескіз		№		Зміст перевірки				Технічні умови та режим перевірки		Інструмент			
 <p>part / деталь</p> <p>discs / диски</p> <p>Sketch / ескіз №9</p>		1		Намагнітити болт, пропустивши струм через деталь для виявлення поздовжніх тріщин. Magnetize the bolt by applying current to the part to detect longitudinal cracks.				I = 1000-1200А для/for 8A-0800-08 I = 650-700А для/for 8A-0800-02		МЛА Метод контролю на залишкову намагніченість			
		2		Зняти болт, полити суспензією і за 1-2 хв ретельно оглянути. Remove the bolt, pour over the suspension and inspect carefully after 1-2 minutes.				тріщини не допускаються / cracks are not allowed		Лупа 4 <sup>x</sup> -7 <sup>x</sup>			
		3		Повторити переходи 1-2 для решти болтів. Repeat steps 1-2 for other bolts.									
Розробник		Петренко		Аркуш		1		Нач. відділу					
Зам. відділу				Арк-ів		2		Н. контроль					
Аркуш № докум.		Підпис		Дата		Аркуш № докум.		Підпис		Дата		Арк-ів	
								Прізвище		Підпис		Дата	

Figure 3.2 – Instructions for magnetic particle testing of the mounting bolt

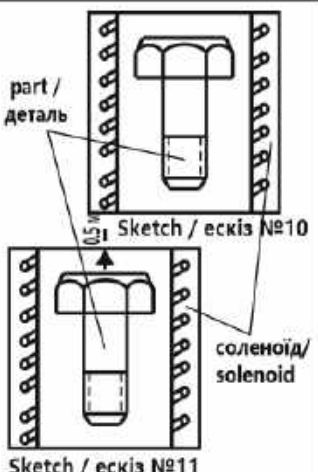
Операційна карта лабораторної перевірки										№			
Вид робіт		Магнітний контроль болтів редукторної рами						Шифр					
Операція №		Найменування деталі		Номер деталі		Матеріал		Твердість		Кіл-сть		Розряд	
Bolts / болти		8A-0800-08 8A-0800-02		18X2H4BA 30XГСА		120±10 кг/мм <sup>2</sup> 110±10 кг/мм <sup>2</sup>		14 12					
Sketch / ескіз		№		Зміст перевірки				Технічні умови та режим перевірки		Інструмент			
 <p>part / деталь</p> <p>солоноїд / solenoid</p> <p>Sketch / ескіз №10</p> <p>Sketch / ескіз №11</p>		4		Намагнітити болт у соленоїді для виявлення тріщин. Magnetize the bolt in the solenoid to identify cracks.				H=200 А/см (H=1590±10%)		МЛА-3 Метод контролю на залишкову намагніченість Лупа 4 <sup>x</sup> -7 <sup>x</sup>			
		5		Повторити переходи 4 та 2 для решти болтів. Repeat steps 4 and 2 for other bolts.				тріщини не допускаються / cracks are not allowed					
		6		Розмагнітити болт із перевіркою приладом ФП-1М або тонкою сталеву пластину на підвісці. Demagnetize the bolt and check it with an ФП-1М device or a thin steel suspended plate.						ФП-1М на III діапазоні.			
		7		Оформити техдокументацію та відправити комплект рами на ремонт. Complete technical documentation and send the frame kit for repair.									
Розробник		Петренко		Аркуш		2		Нач. відділу					
Зам. відділу		Войтенко		Арк-ів		2		Н. контроль					
Аркуш № докум.		Підпис		Дата		Аркуш № докум.		Підпис		Дата		Арк-ів	
								Прізвище		Підпис		Дата	

Figure 3.3 – Instructions for magnetic particle testing of the mounting bolt

In Figures 3.2 and 3.3, sketches, testing technique, machine parameters and required tools for magnetic particle testing are specified.

It is important that the parts to inspect are free of paint and dirt, so they must be cleared – this is something usually carried out not by NDT specialist, but by a mechanic who repairs this particular set of parts, or by a painter.

To magnetize a part, a special magnetic particle testing machine (or flaw detector) is used (Figure 3.4).



Figure 3.4 – UNIMAG 2100 AC/DC

First, it is necessary to set all the parameters specified in the instruction into the machine (Figure 3.5).

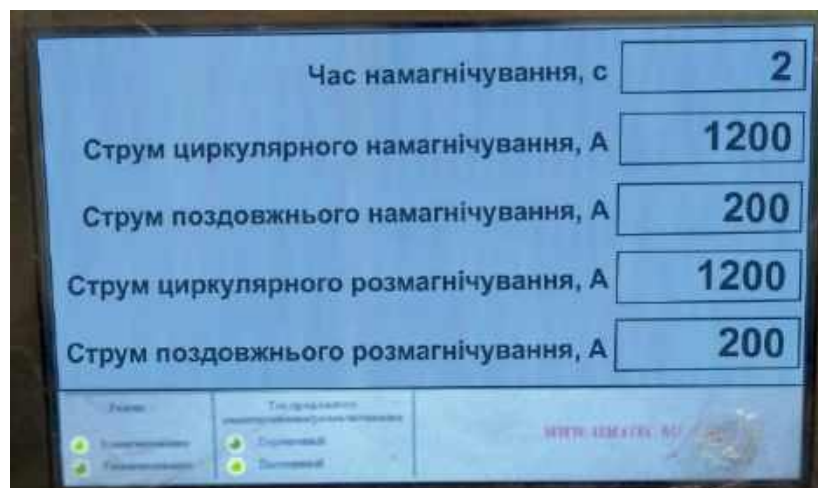


Figure 3.5 – From top to bottom: magnetization time, s; current of circular magnetization, A; current of longitudinal magnetization, A; current of circular demagnetization, A; current of longitudinal demagnetization, A

Then a part should be placed into the solenoid in the same position that is specified in the instruction. In Figure 3.6, the bolt's position corresponds to sketch from Figure 3.3.



Figure 3.6 – Bolt's placement in the machine's solenoid

After this, the “Start” button on the machine should be pressed – magnetization will begin and last 2 seconds (which was set on the previous step (see Figure 3.5)).

A part then should be put on the place where it will be inspected – in this particular case, this place is on the machine. It is important to check if the part is magnetized – for this purpose, a magnetic field indicator is used (Figure 3.7)



Figure 3.7 – Arrow on the instrument shows how strongly the part is magnetized

When it is known for certain that the part is magnetized, it should be fully covered with suspension of magnetic particles (Figure 3.8).



Figure 3.8 – Suspension is not the only form of particles that can be applied to the part – magnetic particles are also exist in form of dry or wet powder

The inspection is carried out in a completely dark room under ultraviolet light. During the inspection, a special ultraviolet lamp or flashlight is used (Figure 3.9).



Figure 3.9 – UV Flashlight LABINO

A part should be carefully examined in search of defects (Figure 3.10).



Figure 3.10 – Mounting bolt covered with magnetic particles (yellow) under ultraviolet light

Defects on the part look like clusters of bright yellow magnetic particles that stand out strongly against the general background (Figure 3.11).

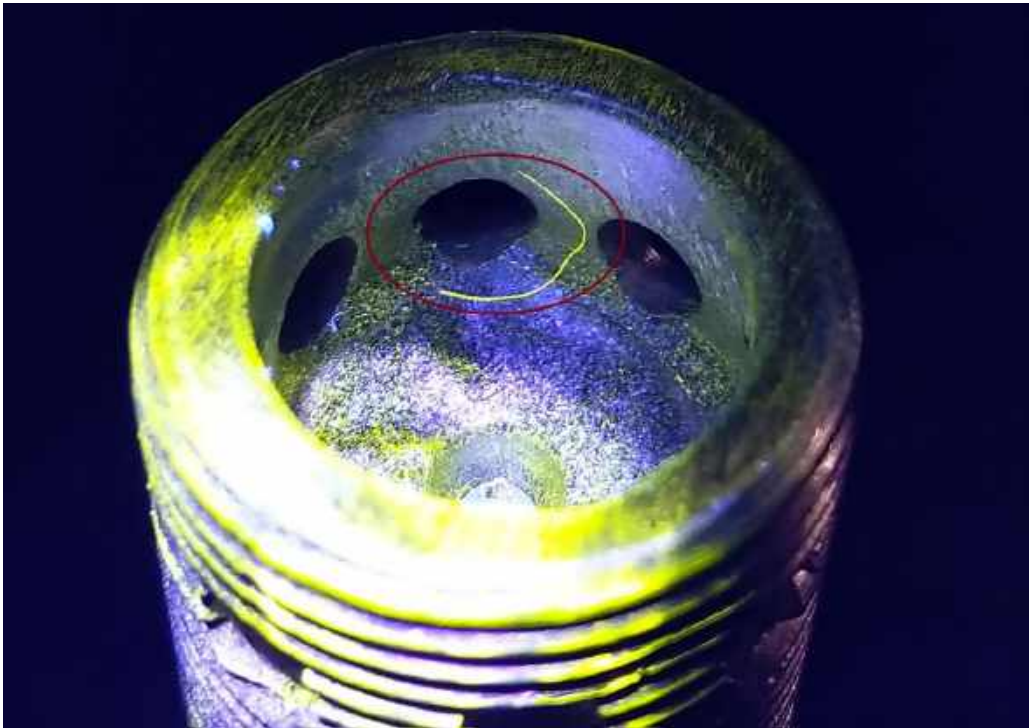


Figure 3.11 – A crack on the bottom part of the bolt

It is almost (in some cases – completely) impossible to find such defects with the naked eye (Figure 3.12).



Figure 3.12 – Same place under the visible light

In Figures 3.13 and 3.14, other examples of cracks found during magnetic particle testing are shown.

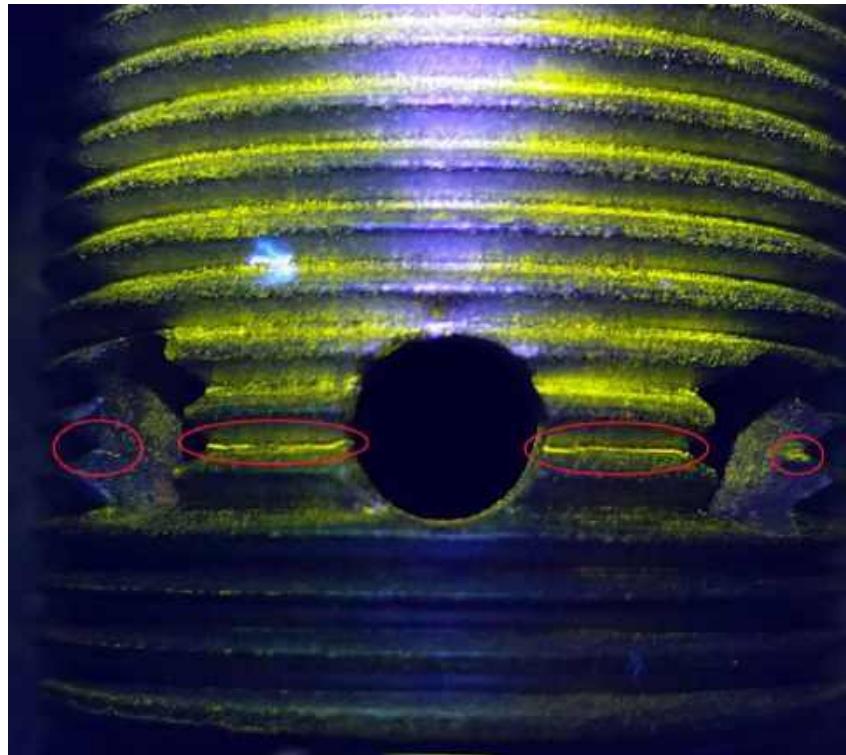


Figure 3.13 – Cracks between threads



Figure 3.14 – Crack in the wall of the countersink hole.

If there are defects (and in some other cases), an NDT report is issued. This report contains information about part number, helicopter type, method used to carry out the inspection, etc. Photos of the defects should be attached to the report as well. The NDT report for magnetic particle testing of the main rotor frame mounting bolt is listed below:

Лабораторія НК NDT Laboratory	Протокол за результатами НК NDT Report <b>№ 54/2022 (COPY 1)</b>	Дата / Date <b>16 / 09 / 2022</b>
----------------------------------	--	--------------------------------------

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer	<b>Components Repair Subdivision</b>
--	--------------------------------------

Тип ВС / A/C Type	<b>Mi-8MTV-1</b>	Пер. № ВС / A/C reg. #	-	Сер. № ВС / A/C S/N	<b>165247</b>
Компонент / Component	<b>Main gear frame</b>	P/N	<b>140-0800-00</b>	S/N	<b>A-85601</b>

Документ-підстава для проведення НК / Basis for carrying out the NDT:	<b>MR Ми-8-ВД-4-/85-97-124</b>
--	--------------------------------

Найменування об'єкта контролю / Object of inspection	<b>Main gear frame mounting bolt</b>				
P/N	<b>8A-0800-08</b>	S/N	-	Кіл-ть / QTY	<b>2</b>

Метод НК / Method of testing (*)	ET	MT	<b>x</b>	PT	VT	RT	ST	M
-------------------------------------	----	----	----------	----	----	----	----	---

(\*) Testing methods interpretation:

ET – Eddy-current testing;

MT – Magnetic particle testing;

PT – Penetrant (fluorescent) testing;

VT – Visual testing;

RT – Radiographic testing;

ST – Springs testing;

M – Measurements.

НК проведені згідно норм-ного докум. / NDT is performed based on the normative document:	<b>Technology. Helicopter of type Mil-8, Mil-8MT(V). Main transmission rotor frame type 8A- 0800-00 with mounting brackets types 8A-1500-001, -002, -003</b>		Рев. Rev.	-
Обладнання / Equipment:	<b>UNIMAG 2100 AC/DC</b>	Зразок / Specimen:	<b>WS-01-87</b>	
Датчик / індикатор / Probe / indicator	<b>Fluorescent ink Lumor J</b>			
Дефект / Defect:	<b>x</b>	виявлено / detected	не виявлено / not detected	
Опис дефекту (якщо його виявлено) / A detailed description of the defect (if detected):				
<b>Cracks in threads and walls of lock holes</b>				
<i>All work covered by this NDT Report are performed i.a.w. international NDT standards</i>				

Фото додається / Pictures are attached

YES

NO

Кількість сторінок, що додаються /  
Number of pages attached

**3**

Виконавець /  
NDT Specialist:

**3**

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Начальник лабораторії НК /  
Head of NDT laboratory:

(або відповідальний спеціаліст 3 рівня /  
or responsible level 3)

Головний інженер /  
Chief Engineer

**3**

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Підпис / Signature

Прізвище / name

Протокол за результатами НК отримано / NDT Report received by:

Ділянка чи замовник / Subdivision or customer

**Head of Components Repair Subdivision**

Посада / Position

П.І.П. / Name

Підпис / Signature

Дата / Date

The Copy № 1 of the NDT Report is submitted to a customer or subdivision to include in overhaul work package.  
The Copy № 2 of the NDT Report is stored in the NDT Laboratory.



If there are no defects, the part should be demagnetized by putting it in the solenoid, switching the machine into demagnetization mode and pressing the “Start” button. After that, check the presence of the part's magnetic field using a magnetometer (Figure 3.15).



Figure 3.15 – Position of the instrument arrow at the demagnetized part

Here is a bonus example of defects found using the magnetic particle testing (Figures 3.16, 3.17).



Figure 3.16 – The cylindrical polished surface of this bolt looks almost perfect under visible light



Figure 3.17 – Detection of cracks formed during grinding using magnetic particle testing

### **Control questions**

1. What defects can the magnetic particle testing method detect?
2. What documents does a specialist use when conducting magnetic particle testing?
3. What is the procedure for preparing parts before inspection?
4. What is the inspection procedure for the prepared part?
5. What additional procedure must be carried out for parts on which no defects are found?

## Laboratory work No. 4

### DETECTION OF OPEN-TO-SURFACE DISCONTINUITIES IN NON-POROUS MATERIALS BY LIQUID PENETRANT TESTING

#### *The goal of the work:*

1. Learn the procedure of detecting surface discontinuities in non-porous materials using liquid-penetrant testing.
2. Learn the procedure for performing liquid-penetrant testing and part rejection.

#### Theoretical information

Liquid penetrant testing is used to check surface-breaking defects in all non-porous materials, such as metals, plastics, or ceramics. It is used to detect casting, forging and welding open-to-surface discontinuities such as hairline cracks, surface porosity, leaks in new products, and fatigue cracks on in-service components. In this method a liquid penetrant is applied to the surface of the product for a certain predetermined time, after which the excess penetrant is removed from the surface. The surface is then dried and a developer is applied to it. The penetrant which re-mains in the discontinuity is absorbed by the developer to indicate the presence as well as the location, size and nature of the discontinuity. The process is illustrated in Figure 4.1.

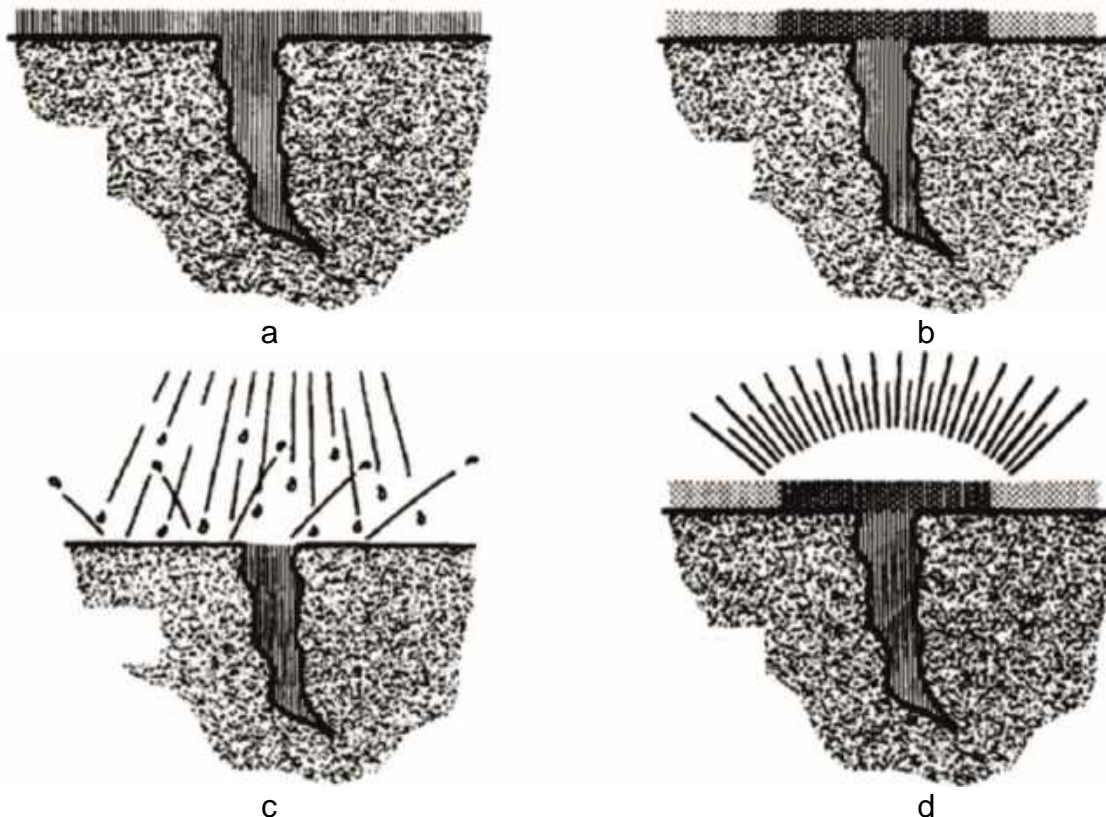


Figure 4.1 – Four stages of liquid penetrant testing process:  
a – penetrant application and seepage into the discontinuity;  
b – removal of excess penetrant; c – application of developer;  
d – inspection for the presence of discontinuities.

In this laboratory work, liquid penetrant testing is demonstrated on the example of the fuel tank mounting bracket of the Mi-8 helicopter.

In this particular case, liquid penetrant testing was used to confirm the defect that was found visually. The troubleshooter which found the defect wasn't sure if it is a crack or just a scratch appeared during the fuel tank removal. The bracket which was originally installed on the helicopter's fuselage central section was dis-mounted and brought to the NDT laboratory.

The bracket and supposed defect are shown in Figures 4.2 and 4.3.



Figure 4.2 – Fuel tank mounting bracket



Figure 4.3 – Area with the defect

First, the surface to be examined should be cleaned of oil and any kind of dirt – this is to prevent false indications and to expose hidden discontinuities to the penetrant. There should be no material such as plating, or coatings of oxide covering the surface. Solid contamination should be removed by vapor blasting, chemical dip or other acceptable methods. Contamination can occur due to the presence of lubricants, protective oils, protective paints, etc. Various solvents have been developed by different companies to remove them. Contamination due to inorganic corrosion products, heat treatment scale, operationally formed refractory oxides, etc. is conveniently removed by abrasive blasting with glass beads combined with chemical cleaning.

Second, the surface to be examined should be dried. If, for any reason, separations are filled with liquid, they will prevent entry of penetrant, hence drying is an essential operation. It should be realized that although the surface may seem dry, separations might still be filled with liquid. The lesson is that improper drying may be worse than no cleaning, because the remaining solvent may present a barrier to the penetrant too. If penetrant liquid does reach into the separation, it will be diluted by the solvent, and this makes the treatment less effective.

After cleaning and drying, the bracket was placed into container where the inspection was carried out (Figure 4.4). In this case, only surface to be examined was prepared for the inspection.



Figure 4.4 – Cleaned and dried fuel tank mounting bracket in the inspection zone

When the part is in the inspection zone, the penetrant should be applied. There are different methods of the penetrant application: it can be done with the

help of a brush, by spray or by dipping the part into a bath of penetrant. In this laboratory work, the examined surface was covered with penetrant by spray (Figure 4.5).



Figure 4.5 – Fuel tank mounting bracket covered with penetrant

After this, a certain residence time is allowed for the penetrant to seep into discontinuities. The residence time varies with the temperature, the type of penetrant, the nature of the discontinuity and the material of the test specimen; it usually varies between 5 and 30 minutes. In special cases, it may be as long as 1 hour.

During the fuel tank mounting bracket inspection, the residence time was 15 minutes. The residence time is specified in the repairing documentation provided by the developer of the aircraft, as well as in the penetrant specification. If the time in these sources is different, the longest time should be taken as the residence time.

After waiting for the required time, the excess penetrant on the surface should be removed to obtain surface contrast and to prevent misleading indications. The appropriate remover is usually recommended by the manufacturer of the penetrant. Some penetrants are water washable while others need application of an emulsifier before they can be removed by water. The removal method is to use a sponge or water spray. There are special penetrant removers that are essentially solvents. It is most important that no penetrant be washed out of the flaws.

In this laboratory work, the penetrant was removed by the penetrant remover recommended by the penetrant manufacturer.

After this the surface should be dried again. It can be done with a dry cloth or an air blower. Drying is generally needed to prepare the surface for the

application of a powder developer, which would otherwise clot at wet places. It also decreases the adverse effect of insufficiently removed traces of penetrant. Here again excess should be avoided. Penetrant liquid left in flaws should not be allowed to dry, and this can happen when hot air is used for drying.

The cleaned and dried fuel tank mounting bracket is shown in Figure 4.6.



Figure 4.6 – Fuel tank mounting bracket after penetrant removal and drying

When the surface is completely dry, the developer should be applied. Developers are usually of two types, namely dry and wet developers. Dry developer consists of a dry, light colored powdery material. It can be applied either by immersing the part in a tank containing powder, by brushing it with a paint brush (usually not a desirable technique) or by blowing the powder onto the surface. Wet developer consists of a powdered material suspended in a suitable liquid such as water or volatile solvent.

Developers should be such that they provide a white coating that contrasts with the colored dye penetrant, and draw the penetrant from the discontinuities to the surface of the developer film, thus revealing defects.

While inspecting the fuel tank mounting bracket, the solvent-based developer recommended by the penetrant manufacturer was used. Such developers are generally used with the visible dye-penetrants. The bracket covered with the developer is shown in Figure 4.7 (only the surface to be inspected was covered).



Figure 4.7 – Area of the fuel tank mounting bracket covered with white developer

An indication in the developer became visible after a certain lapse of time (Figure 4.8).



Figure 4.8 – Crack indication



Because all penetrant inspection methods rely upon the seeing of an indication by the inspector, the lighting provided for this visual examination is extremely important. For best results, inspection for fluorescent indications should be done in a darkened area using black light. For the interpretation of indications, it is very important to observe their characteristics at the very moment they appear. As soon as the flaws have bled out, the indications may run to larger spots, depending on size and depth, and at this stage it is difficult to derive characteristic information from a flaw.

The extent to which observation of developing indications can be realized in practice depends largely on the size and complexity of the surface to be examined, as well as on the number of components to be tested. A brief guide to the penetrant indications is given here. A crack usually shows up as a continuous line of penetrant indication. A cold shut on the surface of a casting also appears as a continuous line, generally a relatively narrow one. A forging lap may also cause a continuous line of penetrant indication. Rounded areas of penetrant indication dignify gas holes or pin holes in castings.

Deep crater cracks in welds frequently show up as rounded indications. Penetrant indications in the form of small dots result from a porous condition. These may denote small pin holes or excessively coarse grains in castings or may be caused by a shrinkage cavity. Sometimes a large area presents a diffused appearance. With fluorescent penetrants, the whole surface may glow feebly. With dye penetrants, the background may be pink instead of white. This diffused condition may result from very fine, widespread porosity, such as microshrinkage in magnesium. Depth of defects will be indicated by richness of color and speed of bleed out. The time required for the indication to develop is inversely proportional to the volume of the discontinuity.

During the inspection of the fuel tank mounting bracket, the defect found visually turned out to be a crack, not a scratch. If it was a scratch, the penetrant would disappear during the removal, since crack is not a deep defect. Immediately after the developer application, the penetrant started to bleed out, which indicates that the defect is deep. An NDT report based on the results of the liquid penetrant testing of the fuel tank mounting bracket was issued:

Лабораторія НК NDT Laboratory	<b>Протокол за результатами НК</b> NDT Report <b>№ 38/2021 (COPY 1)</b>	Дата / Date <b>16 / 06 / 2021</b>
----------------------------------	---	--------------------------------------

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer	<b>Airframe Repair Subdivision</b>
--	------------------------------------

Тип ВС / A/C Type	<b>Mi-8V-5</b>	Рег. № ВС / A/C reg. #	-	Сер. № ВС / A/C S/N	<b>M165</b>
Компонент / Component	<b>Fuselage central section</b>	P/N	<b>8MTB5.0300.000</b>	S/N	-

Документ-підстава для проведення НК / Basis for carrying out the NDT:	<b>MR Ми-8-ВД-4/38-25-456</b>
--	-------------------------------

Найменування об'єкта контролю / Object of inspection	<b>Fuel tank mounting bracket</b>				
P/N	<b>8MT.6120.550.002</b>	S/N	-	Кіл-ть / QTY	<b>1</b>

Метод НК / Method of testing (*)	ET	MT	PT	x	VT	RT	ST	M
-------------------------------------	----	----	----	---	----	----	----	---

(\*) Testing methods interpretation:

ET – Eddy-current testing; PT – Penetrant (fluorescent) testing; RT – Radiographic testing; M – Measurements.  
MT – Magnetic particle testing; VT – Visual testing; ST – Springs testing;

НК проведено відповідно до норм-ного докум. / NDT is performed based on the normative document:	<b>GOST R ISO 3452-1-2011</b>	Рев. Rev.	-
Обладнання / Equipment:	-	Зразок / Specimen:	<b>PS-1-258</b>
Датчик / індикатор / Probe / indicator	<b>Penetrant: Checkmor 240 Developer: Checkmor LD7 Remover: Checkmor S72</b>		
Дефект / Defect:	x	виявлено / detected	не виявлено / not detected
Опис дефекту (якщо його виявлено) / A detailed description of the defect (if detected):			
<b>Crack in the radius</b>			
<i>All work covered by this NDT Report are performed i.a.w. international NDT standards</i>			

Фото додаються / Pictures are attached

YES  NO

Кількість сторінок, що додаються /  
Number of pages attached

1

Виконавець /  
NDT Specialist:

3

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Начальник лабораторії НК /  
Head of NDT laboratory:

3

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

(або відповідальний спеціаліст 3 рівня /  
or responsible level 3)

Головний інженер /  
Chief Engineer

Підпис / Signature

Прізвище / name

Протокол за результатами НК отримано / NDT Report received by:

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer

**Head of Airframe Repair Subdivision**

Посада / Position

П.І.П. / Name

Підпис / Signature

Дата / Date

The Copy № 1 of the NDT Report is submitted to a customer or subdivision to include in overhaul work package.  
The Copy № 2 of the NDT Report is stored in the NDT Laboratory.

Some bonus photos of the liquid penetrant inspection are listed below (Figures 4.9 – 4.12).



Figure 4.9 – Corrosion on the blades of the Mi-8 blower



Figure 4.10 – Corrosion on the Mi-8 air compressor



Figure 4.11 – Pores in the material of the Mi-8 vibration damper



Figure 4.12 – Fatigue cracks in the Mi-8 blower

### **Control questions**

1. What type of defects can be detected by liquid-penetrant testing?
2. What methods of cleaning are used during the preparation of parts for liquid-penetrant testing?
3. What should be considered when drying parts after cleaning?
4. What are the features of penetrant application and development?
5. How should visual control be carried out during liquid-penetrant testing?
6. Describe the most common indications for penetrants?

## Laboratory work No. 5

### EDDY-CURRENT TESTING OF PARTS INTEGRITY USING ELECTROMAGNETIC INDUCTION

#### *The goal of the work:*

1. Learn the working principle of the eddy-current testing of the ferromagnetic parts integrity using electromagnetic induction.
2. Learn to reject parts using the non-destructive testing method presented in this laboratory work.

#### Theoretical information

Eddy-current testing is one of many electromagnetic testing methods used in nondestructive testing making use of electromagnetic induction to detect and characterize surface and sub-surface flaws in conductive materials. An alternating current of known frequency is applied to an electric coil placed adjacent to the material to be inspected. This current will produce its own magnetic field known as excitation field and will induce currents in the metal part known as eddy currents according to Faraday's law of electromagnetic induction. These eddy currents will produce their own magnetic field which will oppose the excitation field. The resultant field is thus reduced which will change the coil impedance.

In Figure 5.1 an alternating current of a given frequency is generated in primary or exciting coil. An alternating magnetic flux is consequently produced. This induces an alternating current of the same frequency in the secondary coil. With the introduction of the specimen, the alternating flux of the primary induces in an eddy current flow which gives rise to an alternating magnetic flux in the opposite direction. The current in the secondary coil is consequently reduced. For given conditions the reduction in current should be equal for all identical specimens placed in the same position relative to the coils. Any observed inequality in the value of the reduced current could indicate the presence of a defect, a change in dimensions, or a variation in the electrical conductivity or in the magnetic permeability of the test specimen due perhaps, to a change in its physical or chemical structure.

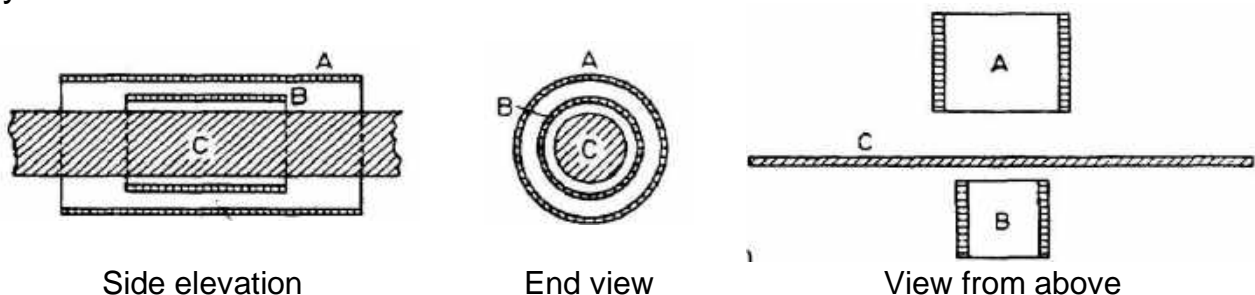


Figure 5.1 – Arrangement of test coils and the test specimen in eddy-current testing

The main component of eddy current equipment is the probe of which there are several different types. The probe could be the encircling type, the internal type or the external type. The main coil arrangements which may be present in these probes can be divided mainly into three categories depending upon the

methods of measurement. In the absolute method the primary and secondary coil are matched so that in the absence of any test specimen the voltages across them are equal and opposite. Introduction of the test piece results in a change in impedance and a voltage change appears which is measured.

The comparison method consists of the use of two identical coil assemblies. A standard defect free specimen is placed in one coil and the test specimen in the other. Changes arising from the differences in the two samples are measured. In the auto-comparison method two different parts of the same sample are compared with each other.

A wide variety of eddy current testing equipment exists, but only some of its typical types are mentioned here. The simplest is the AC bridge. The bridge is unbalanced when a probe passes over the defect because its impedance is changed. Forster's analysis has been applied in the design of some versatile instruments which can be used for conductivity testing, investigation of dimensional variations and flaw detection. The two components of the voltage across the secondary coil are separated in phase and fed to the X and Y plates of an oscilloscope. On the screen appears a bright spot representing a point on the Forster's impedance analysis graph. The movement of this spot is then related to different measurements such as crack detection, conductivity measurements and determination of dimensional variations. Such instruments can be applied to automatic testing for example, sorting of materials.

Eddy current testing is employed for the detection and measurement of defects such as cracks, porosity, blowholes, inclusions, overlaps, shrinkages and soft spots in a wide variety of test specimens in solid cylindrical, hollow cylindrical or other complex shapes. Corrosion and cracking due to stress corrosion can also be detected. Changes in electrical conductivity and permeability can be measured which in turn have a bearing upon the material properties such as hardness, homogeneity, degree of heat treatment, existence of internal stresses, decarburization, diffusion, alloy composition, presence of impurities, etc. Thickness measurements can be made on metallic plates, foils, sheets, strips, tubes and cylinders. Typically, it is possible to determine the thickness of non-metallic coatings on metals such as for example the insulating layers on cables, non-conducting paints on some aircraft castings and anodic coating on aluminum alloy surfaces. Dimensions such as diameters of cylindrical specimens can also be determined. The materials can be automatically sorted in a production process. Since the method is adaptable to automation high speed inspection of small diameter tubings such as those used in steam generators, heat exchangers and as cladding for nuclear reactor fuel elements is possible. Here the characteristics of fuel tubing such as inner and outer diameters, eccentricity, wall thickness and the presence of defects are determined. It is also possible to inspect welded small bore piping. By using encircling type probes large diameter pipes can be inspected. Similarly long bars and wires can be inspected. In tube testing the eddy current method also allows detection of intergranular corrosion on the inside surface.

In this laboratory work, eddy-current testing is demonstrated on the example of the engines blower (fan) of the Mi-8 helicopter.

Nondestructive testing of the aircraft parts is carried out according to the instructions provided by the aircraft developer.

This instruction book contains all the information related not only to nondestructive testing of the blower parts, but also to disassembling, cleaning, troubleshooting, painting, etc. of the said parts.

In Figure 5.2, there are parts of the blower to be tested with eddy-current method.



Figure 5.2 – Parts of the blower tested with eddy-current method

To test these parts, the Konstanta VD-1 flaw detector was used (Figure 5.3).



Figure 5.3 – Konstanta VD-1 flaw detector with set of probes for different materials



The Konstanta VD-1 flaw detector is intended for detecting open-to-surface and below-the-surface defects in ferromagnetic and nonferromagnetic metals and alloys.

To start using the flow detector, the relevant probe should be connected to the flaw detector. Since these blower parts are made of magnesium alloy, the ПФ-ОН4-АІ probe intended for testing aluminum and magnesium alloys should be used (Figure 5.4).



Figure 5.4 – ПФ-ОН-4-АІ probe for aluminum and magnesium alloys

After that, the flaw detector should be checked for functionality using the specimen made of aluminum or magnesium alloy (Figure 5.5).



Figure 5.5 – Specimen with artificially created cracks with a depth of 1, 0.5 and 0.2 mm

The flaw detector, probe and specimen are shown in Figure 5.6.



Figure 5.6 – Flaw detector, specimen and probe

The checking process consists in placing the probe on the defect-free surface of the specimen and pressing “0” button on the flaw detector. Now the device takes this surface as a reference. Then the probe should be moved to the

nearest artificial defect on the specimen, and when it passes the defect, the flaw detector should make a sound and turn on the red diode on the probe. At the same time, the flaw detector display should show the defect depth in microns. The checking process is pictured in Figure 5.7.

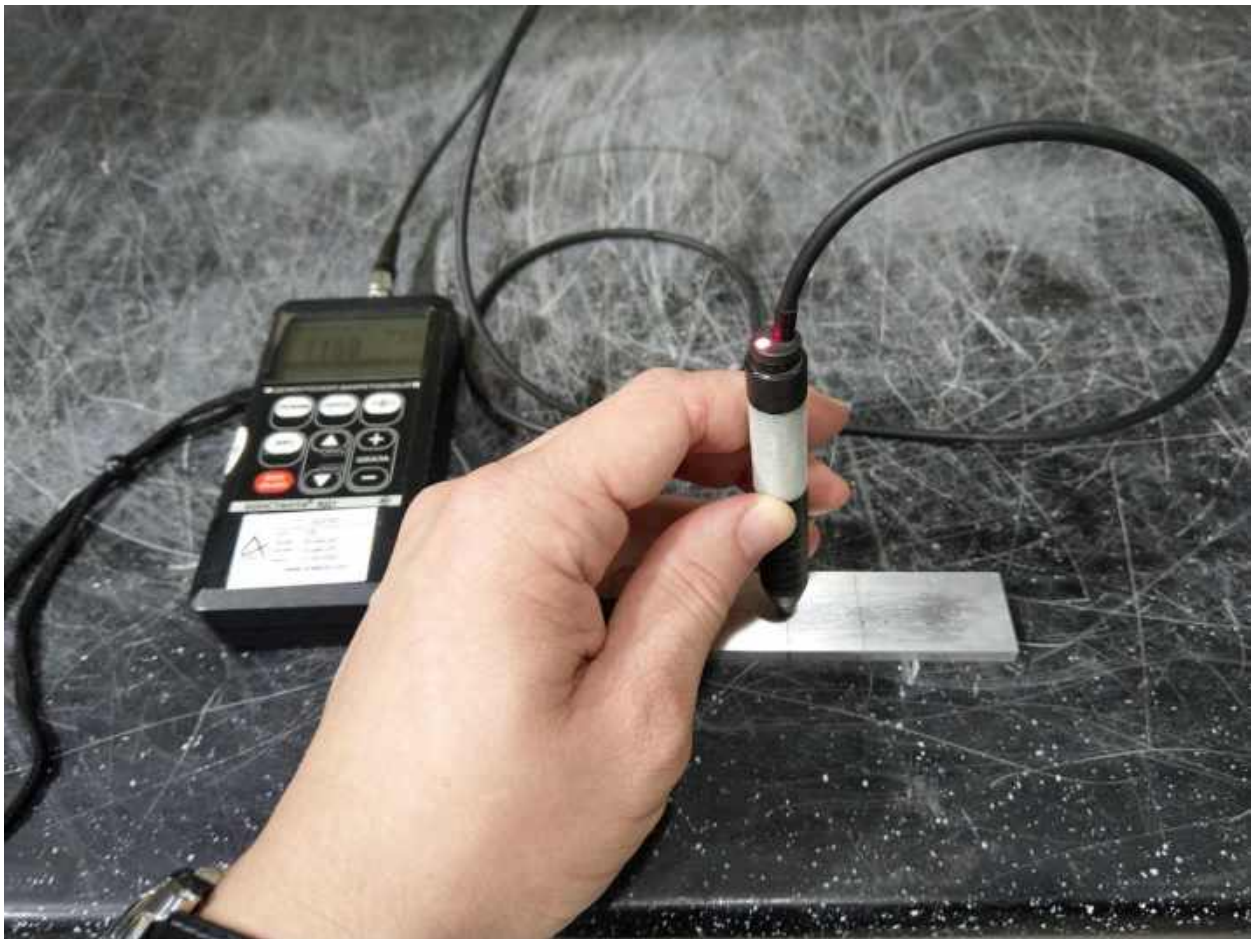


Figure 5.7 – Checking the flaw detector for functionality; note the diode on the probe glows red when it finds a defect

When it is clear that the flaw detector is functional and ready to be used, the eddy-current testing of the blower parts can be started. Before testing, it is necessary to configure the flaw detector on the surface being checked by placing the probe on the surface and pressing “0” button to take this surface as a reference. It is also necessary to set the threshold which specify the allowable size of the defect that can be skipped by the flaw detector – this parameter should be specified in the instruction for checking these particular parts. After these preparations, if the flaw detector detects deviations from the surface it was configured on which size go beyond the threshold, it will make sound, and the diode on the probe will become red.

Zones of the parts to be checked and testing methodology are specified in the aircraft designer instruction. The essence of the eddy-current testing process is to place the probe on the surface and move it along the path specified in the instruction. If the flaw detector finds any defect, this defect should be either

removed by mechanic or the whole part should be rejected – the decision making depends on the aircraft designer instruction.

The beginning of the eddy-current process is shown in Figure 5.8. The path along which the probe should be moved (according to the instruction) on the example of one particular surface is shown in Figure 5.9.



Figure 5.8 – The beginning of eddy-current testing of the blower wheel; the value on the display is negative because the current surface height is bigger than the height of the surface which was used to configure the flaw detector

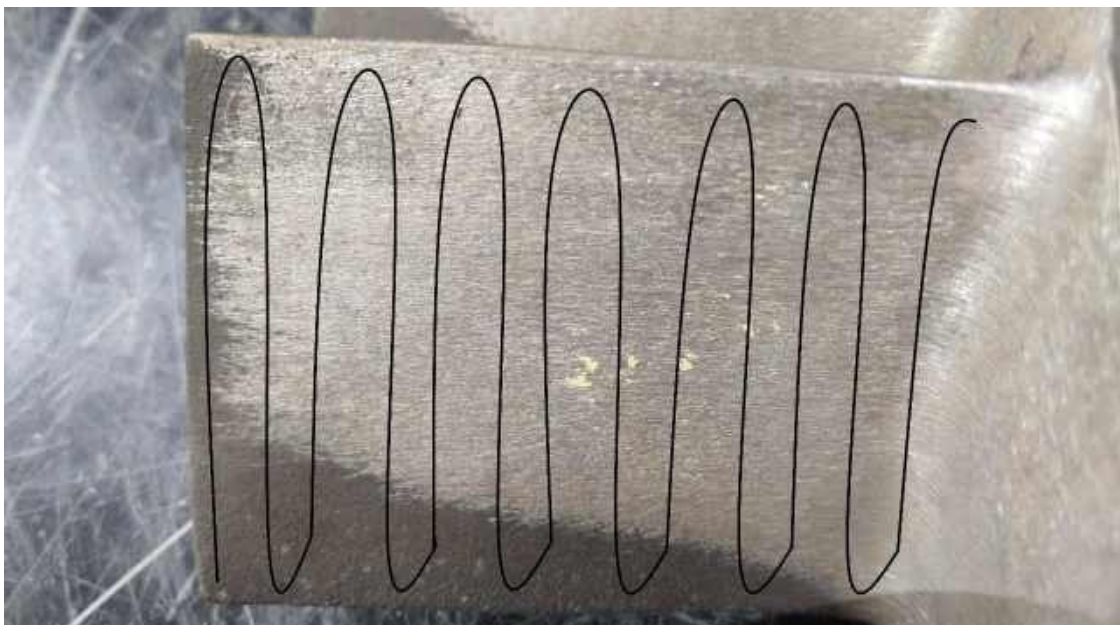


Figure 5.9 – The probe trajectory; the step with which the probe is moving should not exceed the diameter of the sensor located on the probe tip

During the testing, some defects around 0.7 mm depth were found on the blower wheel blade (Figure 5.10)



Figure 5.10 – The defect 689  $\mu\text{m}$  depth found during eddy-current testing

These defects are hard to observe with the naked eye (Fig. 11), so to confirm the defects presence and better visualize them, the liquid penetrant testing was used (Figure 5.12). Moreover, liquid penetrant testing makes it clear if these defects are open-to-surface or below-the-surface, since this method can detect only the former.



Figure 5.11 – The blade where the defects were found; the detected flaws are almost invisible to the naked eye



Figure 5.12 – One of the steps of liquid penetrant testing of the blower wheel

As seen in Figure 5.13, there are multiple corrosive areas on the surface of the blower wheel blade.



Figure 5.13 – Liquid penetrant testing results

The NDT report based on the results of eddy-current (and liquid penetrant) testing of the blower wheel was issued. The NDT report is listed below:

Лабораторія НК NDT Laboratory	Протокол за результатами НК NDT Report <b>№ 74/2022 (COPY 1)</b>	Дата / Date <b>10 / 11 / 2022</b>
----------------------------------	--	--------------------------------------

Дільниця чи замовник / Subdivision or customer	<b>Components Repair Subdivision</b>
--	--------------------------------------

Тип ВС / A/C Type	<b>Mi-8V-5</b>	Рег. № ВС / A/C reg. #	-	Сер. № ВС / A/C S/N	<b>468H976</b>
Компонент / Component	<b>Blower</b>	P/N	<b>8A-6311-00</b>	S/N	-

Документ-підстава для проведення НК / Basis for carrying out the NDT:	<b>Wheel</b>
--	--------------

Найменування об'єкта контролю / Object of inspection	<b>Main gear frame mounting bolt</b>				
P/N	<b>8A-6311-15</b>	S/N	-	Кіл-ть / QTY	<b>1</b>

Метод НК / Method of testing (*)	ET	<input checked="" type="checkbox"/>	MT		PT	<input checked="" type="checkbox"/>	VT		RT		ST		M	
-------------------------------------	----	-------------------------------------	----	--	----	-------------------------------------	----	--	----	--	----	--	---	--

(\*) Testing methods interpretation:

ET – Eddy-current testing;

MT – Magnetic particle testing;

PT – Penetrant (fluorescent) testing;

VT – Visual testing;

RT – Radiographic testing;

ST – Springs testing;

M – Measurements.

НК проведені згідно норм-ного докум. / NDT is performed based on the normative document:	<b>Technology. Helicopter type Mi-8. Repair of oil cooler fan 8A-6311-00</b>		Рев. Rev.	-
Обладнання / Equipment:	<b>Konstanta VD1</b>	Зразок / Specimen:	<b>52</b>	
Датчик / індикатор / Probe / indicator	<b>ПФ-ОН-4-АІ</b>			
Дефект / Defect:	<input checked="" type="checkbox"/> виявлено / detected	<input type="checkbox"/> не виявлено / not detected		
Опис дефекту (якщо його виявлено) / A detailed description of the defect (if detected):	<b>Corrosion with depth up to 689 μm on the blade</b>			
<i>All work covered by this NDT Report are performed i.a.w. international NDT standards</i>				

Фото додається / Pictures are attached

YES



NO



Кількість сторінок, що додаються /  
Number of pages attached

1

Виконавець /  
NDT Specialist:

3

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Начальник лабораторії НК /  
Head of NDT laboratory:  
(або відповідальний спеціаліст 3 рівня /  
or responsible level 3)  
Головний інженер /  
Chief Engineer

3

рівень /  
lvl

Підпис / Signature

Прізвище / name

Підпис / Signature

Прізвище / name

Протокол за результатами НК отримано / NDT Report received by:

Ділянка чи замовник / Subdivision or customer

**Head of Components Repair Subdivision**

Посада / Position

П.І.П. / Name

Підпис / Signature

Дата / Date

The Copy № 1 of the NDT Report is submitted to a customer or subdivision to include in overhaul work package.  
The Copy № 2 of the NDT Report is stored in the NDT Laboratory.

Here is one more example of the defects found using eddy-current testing of the blower (see Figures 5.14 and 5.15).



Figure 5.14 – Guiding devise of the blower; the microscope is pointed at the area where the defects were found to confirm their presence visually

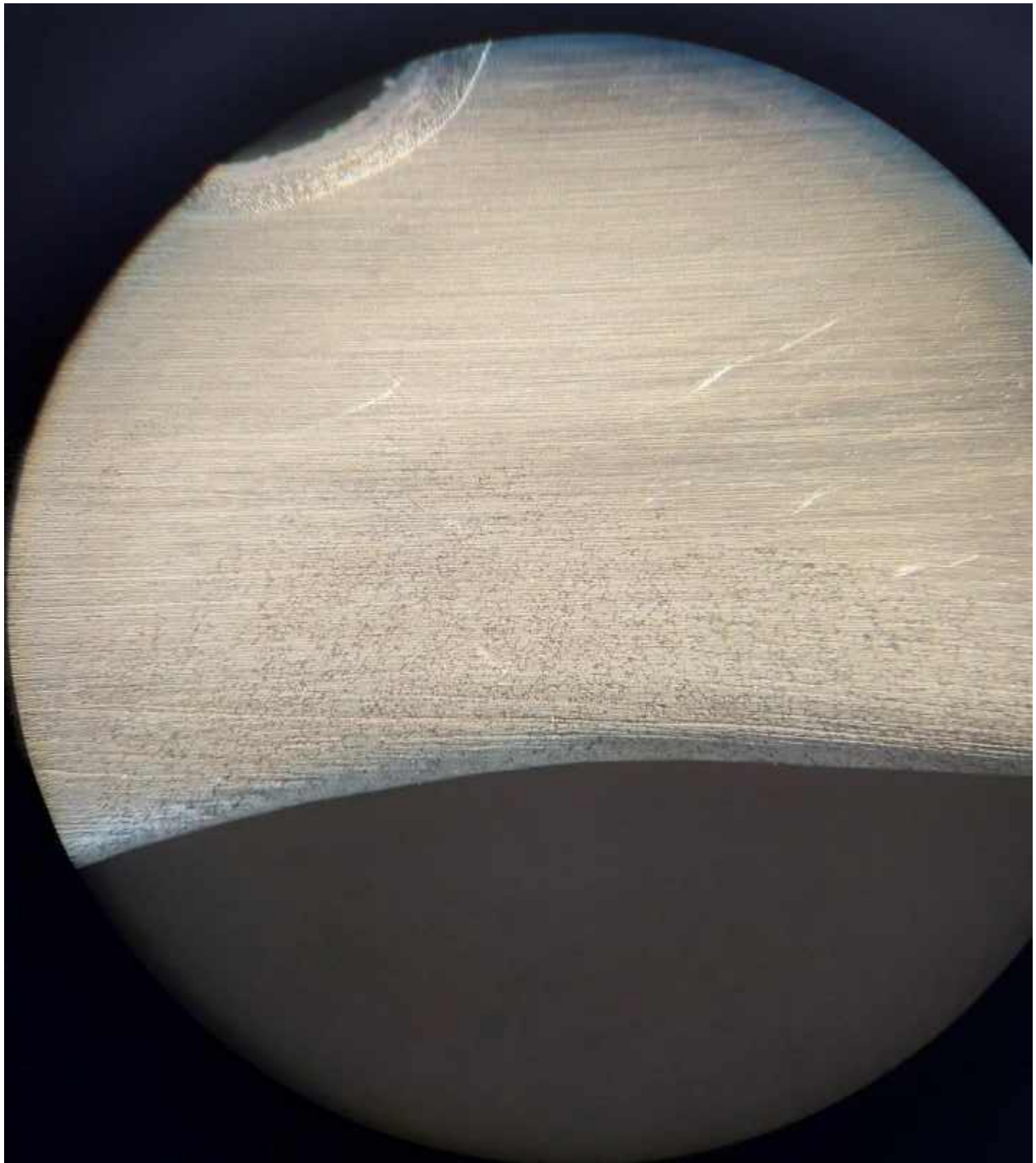


Figure 5.15 – A net of cracks on the guiding device surface

### **Control questions**

1. What is the eddy-current testing method?
2. How does the "AC bridge" type of the equipment work?
3. What can the eddy-current testing method be used for?
4. How to set up the ПФ-ОН-4-АІ probe?
5. Describe the process of testing a part using the eddy-current testing method.
6. What can be the reason for rejecting a part?



## Laboratory work No. 6

### ULTRASOUND DEFECTOSCOPY OF PARTS AND NODES AIRCRAFT

#### *The goal of the work:*

1. Familiarize yourself with the principle of operation of ultrasonic flaw detectors.
2. Learn how to reject proposed parts and find hidden structural defects.

#### **Theoretical information**

In the separate-combined mode of the equipment, pulses of ultrasonic waves are sent to the object of control (OC). If there is a defect on the path, then the pulse is partially reflected from it to the combined converter (CC) as an echo signal. A separate receiver (R) evaluates the drop in the amplitude of the pass-through signal caused by the defect.

In the combined or separate mode of the equipment, pulses of ultrasonic waves are sent to the OC. If there is a defect in the path, it blocks their path, causing the bottom signal to drop. Observing the fall of the bottom signal, they draw a conclusion about the presence and size of the defect.

#### **Description of the device**

As an example, consider the device for carrying out work - the UD3-103 flaw detector (Figure 6.1) with a set of piezoelectric transducers (Figure 6.2), which works at different speeds of ultrasonic (US) wave propagation in the material of samples of different thicknesses.

The defectoscope is intended for ultrasonic control of the base metal and welded joints of sheet elements, pipes, important parts of shipbuilding and aviation industry structures, as well as for measuring the thickness of metal products and other materials. The defectoscope provides detection of defects that violate the integrity of the product (cracks, pores), with measurement and registration in the memory of the characteristics of the detected defects. It can be used during installation, operation and repair in mechanical engineering, metallurgical industry, transport and other industries.



Figure 6.1 – Ultrasonic flaw detector UD3-103

With the help of a flaw detector, welds are checked in samples of T-shaped, pipe welded joints, samples of sheet metal, etc. (Figure 6.3, 6.4).



a



б

Figure 6.2 – Piezoelectric transducers: a – transducers of the thickness gauge of the TY3; b – transducers of the ultrasonic flaw detector



Figure 6.3 – A sample of a welded joint



Figure 6.4 – A sample of pipe welding connection

### Rules for safe performance of work and control procedure

Ultrasonic control is a fairly safe method, so general safety rules are applied during the work. It is forbidden to use the equipment for purposes other than its intended purpose, disassemble, plug in different incomplete converters, etc.

According to the instructions, the operator adjusts the device to control the issued sample – selects a piezoelectric transducer (PET) according to the speed of propagation of ultrasound waves and the thickness of the controlled sample, enters the conditional number of the controller into the flaw detector. The device works according to the "default" setting until the appearance of visual and sound signals about the presence of a defect.

For control, the sample must be prepared in the following sequence:

- use a scraper to clean the surface from exfoliating rust and dirt. Within this surface, according to the conditions of control, the PET must move;

- wipe with a clean cloth;
- cover the surface with a contact liquid to ensure reliable acoustic contact.

Poor cleaning of the controlled area of the surface sharply worsens the quality of the acoustic contact, reduces the real sensitivity of the control, contributes to accelerated wear of the contact surface of the PET, which leads to a change in the angle of the beam input and an increase in the dead zone.

As a contact liquid, you can use:

- when controlling horizontal surfaces – mineral oil, glycerin, acoustic gel, water (in conditions of minus temperatures – ethyl alcohol solution);
- when checking vertical surfaces - mineral oil, the viscosity of which should be selected taking into account the temperature of the surrounding air and the controlled metal.

When moving the PET, it is necessary to ensure that it fits tightly to the surface of the product. Excessive pressure, which does not contribute to the improvement of acoustic contact, leads to rapid fatigue of the operator's hand and activation of the PET.

The search for defects should be carried out from two opposite directions.

A sign of detection of a defect during control using the echo method is the appearance of an echo signal on the screen, the maximum amplitude of which exceeds the threshold for the activation of the automatic defect alarm (ADA). When monitoring with an inclined PET, the echo signal will shift on the screen when the PET is shifted. The appearance of a sign of a defect can also be caused by the presence of brands and other constructive reflectors, as well as surface defects, dirt and residues of contact lubricant.

A sign of defect detection by the mirror-shadow method (MSM) is a decrease in the amplitude of the bottom signal below the ADA activation threshold. A sign of a defect in monitoring by the shadow method is a decrease in the amplitude of the penetrating signal.

The appearance of a defect sign according to MSM and the shadow method can also be caused by the presence of holes, marks and dirt on the scanning surface of the PET, violation of acoustic contact, displacement of the PET relative to each other, etc.

To increase the reliability and validity of the control, as well as the recognition of defects and obstacles, you can use:

- automatic signaling of defects;
- "Bypass" mode;
- "W-scanning" mode;
- "Magnifier" mode.

The defect detector is prepared for work as follows: an external inspection of the defect detector and a set of converters and cables, a network adapter, and main telephones is carried out. If necessary, deficiencies are eliminated, then the completeness of such tools and accessories is checked for control

- standard samples for setting the basic parameters of the flaw detector;
- metal tape measure;

- metal ruler;
- a portable lamp with a voltage of 36 V;
- mirrors;
- magnifiers with an increase of at least x4;
- metal brushes, scraper or scraper;
- a hair brush;
- grinding wheel;
- wiping material;
- containers with contact liquid;
- oil paints;
- brushes for applying contact liquid and paint to defective parts of the product;
- chalks

To turn on the flaw detector, you must perform the following actions:

1. Connect the network cable to the network adapter.
2. Connect the plug from the outlet to the outlet (220 V, 50 Hz).
3. Make sure that the green LED on the body of the network adapter lights up.
4. Connect the low-voltage cable from the network adapter to the "24 V" connector on the switch panel of the electronic (PE) flaw detector unit.
5. Set the switch "ON INSIDE / ON OUTSIDE" on the switching panel of the flaw detector to the "ON INSIDE" position.

At the moment of turning on the flaw detector, a sound signal should sound, after which the factory number and the operating mode menu will appear on the screen.

Before starting work, you need to enter the operator's code, which allows you to protect the information in the defectoscope's memory from unauthorized changes or deletions, determine the operator who conducts the control. After that, you can proceed to control the sample with the "default" settings.

The control process involves the operator performing the following actions:

- 1) preliminary preparation of the object of control (cleaning of the surface, location in space) and the device;
- 2) passage of the PET along the controlled surface until the device signal is triggered;
- 3) study of the defect (determination of its shape and size);
- 4) repeated control to clarify the parameters of the defect;
- 5) entering information about the defect in the control report.

### **Control questions**

1. What is the reliability of the studied method?
2. What are the features of the control process compared to other methods?
3. What methods and methods of work should be used to increase the reliability of the method?

4. What are the differences between separate, combined and separate-combined converters?
5. What is the piezoelectric effect?
6. What is the essence of the echo method?
7. What is the essence of the mirror-shadow method?

## THE BIBLIOGRAPHY

- Белокур, И. П. Дефектоскопия и неразрушающий контроль [Текст] / И. П. Белокур. – Киев : Вища шк., 1990. – 208 с.
- Белокур, И. П. Дефектоскопия материалов и изделий [Текст] / И. П. Белокур, В. А. Коваленко. – Киев : Техніка, 1989. – 192 с.
- Запунный, А. И. Контроль герметичности конструкций [Текст] / А. И. Запунный, Л. С. Фельдман, В. Ф. Регаль.– Киев : Техніка, 1976. – 151 с.
- Кушнарченко, С. Г. Неразрушающие методы контроля и испытаний элементов летательных аппаратов [Текст] / С. Г. Кушнарченко. – Харьков : Харьков. авиац. ин-т, 1975.– 60 с.
- ASNT Industry Handbook. Aerospace Nondestructive Testing. Richard H. Bossi. – Columbus, ASNT, 2014. – 81 p.
- Introduction to Aerospace Engineering with a Flight Test Perspective. Stephen Corda. – Chichester, Wiley, 2017. – 903 p.
- Nondestructive Testing Handbook. Second Edition. Volume 10. Nondestructive Testing Overview. S. Ness, C. N. Sherlock. – USA, ASNT, 1996. – 600 p.
- Non-destructive Testing. A Guidebook for Industrial Management and Quality Control Personnel. – IAEA, Vienna, 1999. – 287 p.

## ЗМІСТ

## CONTENTS

ВСТУП.....	3
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ВИПРОБУВАНЬ.....	5
1.1 Завдання випробувань.....	5
2 ВИПРОБУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА В ОСНОВНИХ ЦЕХАХ АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	12
2.1 Організація неруйнівного контролю на підприємстві. Основні принципи та завдання служб контролю.....	12
2.1.1 Магнітний метод контролю.....	15
2.1.2 Оптичний контроль.....	20
2.1.3 Теплові методи контролю суцільності.....	22
2.2 Контрольно-випробувальні роботи в цеху остаточного складання.....	23
3 КОМПЛЕКСНІ ВИПРОБУВАННЯ І АЕРОДРОМНЕ ВІДПРАЦЮ- ВАННЯ СИСТЕМ ЛІТАКА НА АВІАЦІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ.....	26
3.1 Відпрацювання і контроль систем на контрольно-випробу- вальній станції.....	26
3.2 Комплексні випробування на льотно-випробувальній станції... .....	29
4 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИПРОБУВАНЬ СЕРІЙНИХ ВИРОБІВ.....	33
4.1 Пред'явницькі випробування.....	33
4.2 Періодичні випробування.....	36
4.3 Типові випробування.....	37
4.4 Сертифікаційні роботи.....	38
4.5 Технічне обслуговування та ремонт літака.....	39
5 ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ І СЕРТИФІКАЦІЯ НА КОНКРЕТНИХ ПРИКЛАДАХ AIRBUS A380.....	43
5.1 Забезпечення льотної придатності.....	43
5.2 Структурні статичні випробування.....	44
5.3 Кампанія льотних випробувань.....	45
5.4 Сертифікація.....	46
Лабораторна робота № 1. КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТІ КОНСТРУК- ЦІЙ.....	48
Лабораторна робота № 2. РОЗРАХУНОК СОЛЕНОЇДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ НАМАГНІЧУВАННЯ І РОЗМАГНІЧУВАННЯ СТАЛЕ- ВИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МАГНІТНОМУ КОНТРОЛІ.....	57
Лабораторна робота № 3. МАГНІТОПОРОШКОВИЙ КОНТРОЛЬ ЦІЛОСНОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ ДЕТАЛЕЙ.....	65
Лабораторна робота № 4. ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПОВЕРХНІ НЕПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ КАПІЛЯРНИМ ТЕСТУВАННЯМ.....	76
Лабораторна робота № 5. ВИХОРОСТРУМИНИЙ КОНТРОЛЬ ЦІЛОСНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ.....	87

Лабораторна робота № 6. УЛЬТРАЗВУКОВА ДЕФЕКТОСКОПІЯ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ЛА.....	99
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	104
INTRODUCTION.....	105
1 BASIC CONCEPTS AND CLASSIFICATION OF TESTS.....	107
1.1 Tasks of tests.....	107
2 TESTING OF AIRCRAFT EQUIPMENT IN THE MAIN WORKSHOPS OF AVIATION PRODUCTION.....	114
2.1 Organization of non-destructive testing at the enterprise. Basic principles and tasks of control services.....	114
2.1.1 Magnetic control method.....	117
2.1.2 Optical control.....	121
2.1.3 Thermal integrity control methods.....	123
2.2 Control and test work in the final assembly shop.....	124
3 COMPREHENSIVE TESTING AND AIRFIELD TESTING OF AIR- CRAFT SYSTEMS AT AN AVIATION ENTERPRISE.....	127
3.1 Testing and control of systems at the control and testing station....	127
3.2 Complex tests at the flight test station.....	130
4 ORGANIZATION OF TESTS OF SERIAL PRODUCTS.....	134
4.1 Demonstration tests.....	134
4.2 Periodic tests.....	137
4.3 Typical tests.....	138
4.4 Certification works.....	139
4.5 Aircraft maintenance and repair.....	140
5 TEST PROGRAM AND CERTIFICATION ON SPECIFIC EXAMPLES OF AIRBUS A380.....	145
5.1 Ensuring airworthiness.....	145
5.2 Structural static tests.....	146
5.3 Flight test campaign.....	147
5.4 Certification.....	148
Laboratory work No. 1. CONTROL OF TIGHTNESS OF STRUCTURES.	150
Laboratory work No. 2. CALCULATION OF ALTERNATING CURRENT SOLENOIDS FOR MAGNETIZATION AND DEMAGNETIZATION OF STEEL PARTS UNDER MAGNETIC CONTROL.....	159
Laboratory work No. 3. MAGNETIC PARTICLE TESTING OF THE FERROMAGNETIC PARTS INTEGRITY.....	167
Laboratory work No. 4. DETECTION OF OPEN-TO-SURFACE DIS- CONTINUITIES IN NON-POROUS MATERIALS BY LIQUID PENETRANT TESTING.....	178
Laboratory work No. 5. EDDY-CURRENT TESTING OF PARTS INTEGRITY USING ELECTROMAGNETIC INDUCTION.....	189
Laboratory work No. 6. ULTRASONIC FLAW DETECTION OF PARTS AND COMPONENTS OF THE AIRCRAFT.....	200
THE BIBLIOGRAPHY.....	205



Навчальне видання

**Застела Олександр Миколайович  
Воронько Ірина Олексіївна**

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

(Українською та англійською мовами)

Редактори: М. В. Кириленко, Н. М. Сікульська

Зв. план, 2024

Підписано до видання 18.10.2024

Ум. друк. арк. 11,6. Обл.-вид. арк. 13. Електронний ресурс

---

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](mailto: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