

ПІДТРИМАННЯ  
ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ  
ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН



ПІДТРИМАННЯ  
ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ  
ПОВІТРЯНИХ  
СУДЕН



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний авіаційний університет

**ПІДТРИМАННЯ  
ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ  
ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**  
(ICAO Doc. 9760)

Навчальний посібник



Київ 2022

УДК 629.735.083 (075.8)  
П 32

Автори: С. О. Дмитрієв – д-р техн. наук, проф.;  
О. В. Попов – канд. техн. наук, доц.;  
В. О. Максимов – канд. техн. наук;  
О. І. Духота – д-р техн. наук, ст. наук. співроб.;  
Є. Ю. Євсюков – ст. викладач

Рецензенти: В. А. Тітов – д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»);  
В. Ф. Шмирьов – д-р техн. наук, директор програми (Державне підприємство «Антонов»);  
О. А. Кононов – д-р техн. наук, доцент, заступник директора (Державний науково-дослідний інститут авіації)

Рекомендовано Вченою радою  
Національного авіаційного університету  
(протокол № 4 від 22.06.2022 р.).

П 32 Підтримання льотної придатності повітряних суден (ICAO Doc. 9760): навч. посібник / С. О. Дмитрієв, О. В. Попов, В. О. Максимов та ін. – К.: НАУ, 2022. – 208 с.

ISBN 978-966-932-181-7

Розглянуто питання технічного обслуговування планера та функціональних систем повітряних суден, методи та засоби визначення технічного стану, характерні відмови та несправності, експлуатаційні чинники, що впливають на працездатність окремих агрегатів та функціональних систем загалом.

Призначено для здобувачів вищої освіти спеціальності 272 «Авіаційний транспорт» освітньо-професійної програми «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден та авіадвигунів».

УДК 629.735.083 (075.8)

ISBN 978-966-932-181-7

© Дмитрієв С. О., Попов О. В.,  
Максимов В. О. та ін., 2022  
© НАУ, 2022

## ЗМІСТ

Умовні скорочення.....	7
Терміни та визначення.....	9
ВСТУП.....	11
<b>Розділ 1. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПЛАНЕРА.....</b>	<b>13</b>
1.1. Класифікація типових пошкоджень і несправностей конструктивних елементів планера.....	13
1.2. Корозія, її причини, наслідки, методи запобігання та усунення.....	15
1.3. Технічне обслуговування обшивки.....	19
1.4. Технічне обслуговування засклення.....	20
1.5. Технічне обслуговування стикових частин планера.....	22
1.6. Особливості технічного обслуговування у разі виникнення особливих умов польоту.....	24
1.7. Перевірка кабін на герметичність.....	29
<b>Розділ 2. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....</b>	<b>32</b>
2.1. Технічне обслуговування системи кондиціонування.....	32
2.2. Технічне обслуговування системи регулювання тиску.....	35
2.3. Технічне обслуговування системи регулювання температури.....	39
<b>Розділ 3. УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ПІДТРИМАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІТАКОМ.....</b>	<b>42</b>
3.1. Вплив умов експлуатації на технічний стан систем керування.....	42
3.2. Особливості технічного обслуговування елементів жорсткої проводки системи керування.....	42
3.3. Особливості технічного обслуговування гнучкої (тросової) проводки керування. Перевірка натягу тросів.....	44
3.4. Перевірочно-регулювальні роботи в системах керування.....	48
3.5. Технічне обслуговування герметичних виводів системи керування.....	50
3.6. Технічне обслуговування елементів системи керування.....	51
3.7. Технічне обслуговування засобів механізації крила і керованого стабілізатора.....	51
<b>Розділ 4. УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ШАСІ.....</b>	<b>54</b>
4.1. Характеристика експлуатаційних чинників, що впливають на технічний стан шасі.....	54
4.2. Технічне обслуговування пневматиків.....	58
4.3. Технічне обслуговування амортизаторів шасі.....	60
4.4. Умови експлуатації та технічне обслуговування конструктивних елементів силової схеми шасі.....	67

4.5. Перевірка кінематики системи прибирання-випускання шасі.....	68
4.6. Технічне обслуговування гальмівних пристроїв коліс шасі.....	69
4.7. Технічне обслуговування корпусів коліс, їх осей і підшипників. Правила заміни коліс.....	71
4.8. Експлуатаційні причини явища типу «шіммі» і способи їх усунення .....	72
<b>Розділ 5. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН.....</b>	<b>75</b>
5.1. Конструктивно-експлуатаційні особливості паливних систем сучасних повітряних суден.....	75
5.2. Технічне обслуговування паливної системи.....	75
5.3. Наявність води в паливі.....	78
5.4. Біологічна активність палива та біологічні ушкодження елементів конструкції паливної системи.....	80
5.5. Заходи боротьби з мікробіологічними забрудненнями.....	84
<b>Розділ 6. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН.....</b>	<b>88</b>
6.1. Конструктивно-експлуатаційні особливості гідравлічних систем сучасних літаків.....	88
6.2. Чинники, що впливають на технічний стан і працездатність гідросистем.....	88
6.3. Типові роботи під час технічного обслуговування гідросистем....	91
6.4. Технічне обслуговування трубопроводів .....	94
6.5. Способи перевірки внутрішньої негерметичності системи і агрегатів .....	96
6.6. Перевірка початкових тисків азоту в азотній порожнині гідравлічного акумулятора і гасителя пульсації.....	97
6.7. Особливості технічного обслуговування джерел тиску гідросистеми з насосами різної конструкції .....	97
6.7.1. Особливості технічного обслуговування джерел тиску гідросистем з насосами постійної продуктивності.....	98
6.7.2. Особливості технічного обслуговування елементів гідравлічних систем з насосами змінної (регульованої) продуктивності.....	100
6.7.3. Особливості технічного обслуговування гідросистем з автономним приводом насосів.....	101
<b>Розділ 7. УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>103</b>
7.1. Проблема вдосконалення методів технічного обслуговування та ремонту газотурбінних двигунів.....	103
7.2. Класифікація типових відмов і несправностей газотурбінних двигунів .....	104

7.3. Розподіл і характер пошкоджень елементів конструкції газотурбінного двигуна по системах та вузлах і причини їх виникнення.....	107
7.3.1. Компресор .....	107
7.3.2. Камера згоряння .....	112
7.3.3. Турбіна .....	115
7.3.4. Підшипники роторів опор газогенератора .....	119
7.3.5. Деталі приводів.....	121
7.3.6. Трубопроводи.....	121
7.4. Технічне обслуговування газотурбінних двигунів .....	122
7.4.1. Технічне обслуговування компресора.....	122
7.4.2. Технічне обслуговування камери згоряння.....	124
7.4.3. Технічне обслуговування турбіни.....	125
7.4.4. Технічне обслуговування деталей, що омиваються мастилом.....	127
7.4.5. Технічне обслуговування мастильних систем газотурбінних двигунів.....	127
7.4.6. Технічне обслуговування двигунів модульної конструкції..	129
7.5. Заміна авіаційних двигунів.....	129
7.6. Консервація і розконсервація двигунів.....	131
7.7. Способи відновлення характеристик газотурбінного двигуна.....	132
<b>Розділ 8. ЗАПУСК, ПРОГРІВАННЯ, ВИПРОБУВАННЯ, ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ВИМИКАННЯ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ..</b>	<b>134</b>
8.1. Загальна характеристика процесу запуску двигунів.....	134
8.2. Етапи запуску і контроль процесу запуску газотурбінного двигуна .....	136
8.3. Підготовка двигуна до запуску .....	137
8.4. Вплив експлуатаційних чинників на запуск .....	139
8.5. Характерні несправності під час запуску газотурбінного двигуна..	140
8.6. Умови і особливості запуску поршневих двигунів.....	142
8.6.1. Засоби запуску поршневого двигуна, його експлуатаційні характеристики .....	143
8.6.2. Гідравлічний удар під час запуску зіркоподібних поршневих двигунів .....	145
8.6.3. Особливості запуску поршневих двигунів за низьких температур зовнішнього повітря.....	146
8.7. Прогрівання авіаційних двигунів .....	148
8.8. Перевірка роботи авіаційних двигунів .....	151
8.8.1. Перевірка роботи турбореактивних двоконтурних двигунів.	151
8.8.2. Особливості перевірки роботи турбогвинтових двигунів ....	152
8.8.3. Особливості перевірки роботи поршневих двигунів .....	155

<b>Розділ 9. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ</b>	
<b>ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ</b> .....	158
9.1. Основні відмови і несправності циліндропоршневої групи, їх причини та наслідки.....	158
9.2. Основні роботи при технічному обслуговуванні .....	159
9.3. Технічне обслуговування системи запалювання .....	161
9.4. Технічне обслуговування повітряних гвинтів .....	162
<b>Розділ 10. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ</b>	
<b>ВЕРТОЛЬОТІВ</b> .....	165
10.1. Вплив експлуатаційних чинників на автоколивання вертольота (земний резонанс і флатер).....	165
10.2. Умови експлуатації та технічного обслуговування несучої системи і трансмісії вертольота .....	168
10.3. Характеристика регулювальних робіт несучого гвинта і системи керування вертольотом .....	170
10.4. Особливості експлуатації силових установок на вертольотах .....	172
<b>Розділ 11. ВІДНОВЛЕННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ</b>	
<b>ПОВІТРЯНИХ СУДЕН</b> .....	175
11.1. Характерні дефекти деталей і елементів конструкцій повітряних суден і авіаційних двигунів.....	175
11.2. Особливості організації і технології ремонту.....	183
11.3. Організаційно-виробнича структура авіаремонтного підприємства. Виробничий і технологічний процеси ремонту.....	191
11.4. Загальні організаційно-технічні заходи щодо підготовки виробництва до ремонту.....	193
11.5. Порядок розроблення технологічного процесу ремонту.....	198
11.6. Тенденції розвитку організації ремонту повітряного судна та його компонентів.....	200
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	205

## УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

АД	– авіаційний двигун
АР	– автомат розвантаження
АРТ	– автоматичний регулятор тиску
БП	– безпека польотів
ВКД	– важіль керування двигуном
ВМТ	– верхня мертва точка
ГА	– гідравлічний акумулятор
ГБ	– гідравлічний балон
ГВ	– герметичні виводи
ГС	– гідравлічна система
ГТД	– газотурбінний двигун
ДСУ	– допоміжна силова установка
ЖТ	– жарові труби
ЗПС	– злітно-посадкова смуга
КВ	– колінчастий вал
КВТ	– компресор високого тиску
КГ	– кермовий гвинт
КЗ	– камера згоряння
ЛП	– льотна придатність
ЛФП	– лакофарбове покриття
ЛЦВС	– лазерні центрувальні вимірювальні системи
МГ	– малий газ
МС	– мастильна система
НА	– напрямний апарат
НГ	– несучий гвинт
НС	– насосна станція
ПГ	– повітряний гвинт
ПД	– поршневий двигун
ПКФ	– прибор контролю фільтра
ПММ	– паливно-мастильні матеріали
ППР	– повітряно-повітряний радіатор
ПРА	– паливорегулювальна апаратура
ПС	– повітряне судно
ПЧ	– проточна частина
РК	– робоче колесо
РЛ	– робоча лопатка

СА	– сопловий апарат
СК	– система керування
СКП	– система кондиціонування повітря
СРТ	– система регулювання тиску
СУ	– силова установка
ТВТ	– турбіна високого тиску
ТВлД	– турбовальний двигун
ТГвД	– турбогвинтовий двигун
ТО	– технічне обслуговування
ТП	– технологічний процес
ТРДД	– турбореактивний двоконтурний двигун
ТС	– технічний стан
ТХУ	– турбохолодильна установка
ФЕ	– фільтрувальний елемент
ЦА	– цивільна авіація
ЦПГ	– циліндропоршнева група

## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Запропоновані визначення термінів наведено у редакції, яка відповідає керівним та нормативним документам (нормативно-правовому базису) ICAO, EASA та Державної авіаційної адміністрації України, а саме: Чиказька конвенція та Додатки до неї, Повітряний кодекс України, Авіаційні правила України, Частина 21, наказ Державної авіаційної адміністрації України за № 286 від 06.03.2019 р. «Про затвердження Авіаційних правил України “Підтримання льотної придатності повітряних суден та авіаційних виробів, компонентів і обладнання та схвалення організацій і персоналу, залучених до виконання цих завдань”», PR AML.A-001 частина А, EASA Part-21, EASA Part-66, EASA Part-145, Rules for Large Aeroplanes (CS-25).

*Базове технічне обслуговування* – технічне обслуговування (ТО) поза межами лінійного технічного обслуговування.

*Компонент* – будь-який двигун, гвинт, частина або прилад.

*Льотна придатність* – комплексна характеристика повітряного судна (ПС), яка визначається реалізованими у його конструкції принципами та рішеннями, що дозволяє здійснювати безпечні польоти в очікуваних умовах та за встановлених методів експлуатації.

*Лінійне технічне обслуговування* – будь-яке ТО, яке виконується перед польотом для гарантування того, що ПС придатне до назначеного польоту.

*Лінійне технічне обслуговування передбачає:*

а) пошук і усунення несправностей, виправлення дефектів, заміну компонентів із застосуванням, якщо вимагається, зовнішньої перевіркою апаратури;

б) заміну компонентів, наприклад, двигунів і повітряних гвинтів (ПГ);

в) планове ТО та / або перевірку, включно з візуальними оглядами, які дають змогу виявити незадовільний стан/невідповідність, але яке не потребує докладної інспекції. Воно може також включати внутрішню структуру, системи і елементи силової установки (СУ), які видно через швидкодоступні панелі / люки;

г) прості ремонти і модифікації, які не потребують детального демонтажу і можуть бути виконані з використанням звичайних засобів.

*Очікувані умови експлуатації* – умови, що стали відомі з практики або виникнення яких можна з достатньою підставою

передбачати протягом терміну служби ПС з урахуванням його призначення.

Ці умови залежать від метеорологічного стану атмосфери, рельєфу місцевості, функціонування ПС, кваліфікації персоналу та інших чинників, що впливають на безпеку польоту (БП).

*Очікувані умови експлуатації не містять:*

- екстремальних умов, яких можна успішно уникнути шляхом використання відповідних правил експлуатації;

- екстремальних умов, які виникають настільки рідко, що вимога до виконання стандартів щодо цих умов призвела б до забезпечення більш високого рівня льотної придатності (ЛП), ніж це необхідно та практично обгрунтовано.

*Передпольотний огляд* – огляд, який виконується перед вильотом для того, щоб переконатися, що ПС придатне до запланованого польоту.

*Підтримання льотної придатності* – усі процеси, які забезпечують у будь-який час експлуатації відповідність ПС чинним вимогам з ЛП та знаходження ПС в придатному для безпечної експлуатації стані.

*Ремонт* – усунення пошкодження та/або відновлення стану ЛП після первинного передавання в експлуатацію виробником будь-якого виробу, компонента або обладнання.

Усунення пошкодження шляхом заміни компонентів або обладнання без потреби розроблення конструкторської документації розглядається як завдання ТО.

*Технічне обслуговування* – будь-яка дія щодо капітального ремонту, поточного ремонту, огляду, заміни, модифікації чи ректифікації ПС чи його компонента, або сукупність таких дій, за винятком передпольотного огляду.

*Силова установка* – система, що складається з усіх двигунів, компонентів системи приводу (якщо є) та ПГ (якщо встановлені), їх агрегатів, допоміжних частин, паливної та мастильної систем, встановлених на ПС; до неї не належать гвинти вертольота.

*MRO* – система ТО, ремонту та капітального ремонту повітряних суден (*Maintenance, Repair and Overhaul*).

## ВСТУП

Дисципліна «Підтримання льотної придатності повітряних суден (ICAO Doc. 9760)» є завершальною з циклу дисциплін, присвячених питанням експлуатації ПС.

Експлуатація ПС – складний динамічний процес, що складається з ланцюга взаємопов'язаних функціональних складових, який передбачає: льотну, комерційну, аеродромну експлуатацію, ТО, керування повітряним рухом та багато іншого.

Технічне обслуговування є елементом експлуатації, отже, має забезпечувати підтримання ЛП ПС, тобто гарантувати їх працездатність і справність, своєчасну готовність до використання за призначенням при мінімальних трудових і матеріальних витратах. Водночас у системі MRO (Maintenance, Repair and Overhaul Systems) за стандартами та рекомендованими практиками ICAO (технічне обслуговування, ремонт та капітальний ремонт) існують такі стадії перебування ПС, як: відновлення, збереження і транспортування.

Відомо, що під впливом науково-технічного прогресу відбувається постійне вдосконалення і ускладнення конструкцій ПС, що відбивається на вартості їх розроблення і виробництва, а також на витратах для проведення ТО. Отже, виникає необхідність удосконалення процесу ТО ПС для підвищення ефективності їх використання і, відповідно, зниження витрат на ТО.

Незважаючи на величезне різноманіття типів ПС та їх двигунів, різні умови їх експлуатації, можна стверджувати, що, по-перше, усі вони виконують єдину функцію – перевезення пасажирів і вантажів, або авіаційні роботи; по-друге, принципи польоту ПС, що експлуатуються в цивільній авіації (ЦА), яких лише два – літаковий та вертолітний, а типів двигунів чотири – турбореактивний двоконтурний (ТРДД), турбогвинтовий (ТГВД), турбовальний (ТВЛД) і поршневий (ПД).

Відповідно до цього поділу розрізняють і конструктивні особливості ПС і авіаційних двигунів (АД). Типи літаків(та), вертольотів (з різними типами двигунів), турбореактивних, турбогвинтових (ТГВД) і

поршневих двигунів (ПД) мають схожі конструктивні рішення, звідки впливає висновок, що вся діяльність з підтримання їх ЛП має загальний характер. Це означає, що роботи, які виконуються під час підготовки до польотів, ТО, відновлення, зберігання і транспортування для всіх типів ПС і АД мають багато спільного.

Крім того, зважаючи на спільність виконуваних функцій, конструктивних рішень, матеріалів, що застосовуються, технології виготовлення, слід очікувати і багато спільного в процесах зношування, втомлення, старіння та загалом у виробленні ресурсного запасу.

Як свідчать статистичні дані, накопичені за багато років експлуатації літаків, вертольотів та їх двигунів, дійсно є характерні відмови та пошкодження, властиві всім типам ПС і АД, і що важливо, таких подібних відмов і пошкоджень багато.

Безумовно, певні конструктивні особливості, відмінності у виконуваних функціях і умовах експлуатації призводять до появи специфічних для кожного типу ПС і АД відмов, пошкоджень і робіт з ТО, але їх значно менше і вони не мають скільки-небудь принципового характеру.

Відтак, основний матеріал дисципліни «Підтримання льотної придатності повітряних суден (ICAO Doc. 9760)» присвячений питанням ТО планера і функціональних систем ПС, а також двигунів. У ньому на основі досвіду експлуатації і зібраних статистичних даних систематизовані, класифіковані й описані характерні відмови та пошкодження планера, систем і вузлів ПС, причини, ознаки, наслідки таких відмов і пошкоджень, а також характерні роботи з ТО цих систем.

Також у посібнику розглянуто та наведено організаційні засади підготовки виробництва до виконання робіт з ремонту ПС та його компонентів.

Щоб полегшити розуміння порушених тем, надано стислі (де це необхідно) загальні відомості про функціонування, конструкції розглянутих систем та їх вузлів.

Отже, у навчальному посібнику розглянуто такі механічні системи: планер; висотна система; система керування (СК) ПС; шасі; гідравлічна система (ГС); силова установка. Додатково викладені особливості ТО вертольотів і ПД.

Навчальний посібник цілком відповідає програмі курсу «Підтримання льотної придатності повітряних суден (ICAO Doc. 9760)» і буде корисним здобувачам вищої освіти авіаційних навчальних закладів, а також технічному персоналу експлуатаційних підприємств ЦА.

## Розділ 1

### АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПЛАНЕРА

#### 1.1. Класифікація типових пошкоджень і несправностей конструктивних елементів планера

В умовах експлуатації на елементи конструкції планера впливає ціла група чинників, які визначають його технічний стан (ТС). До них належать експлуатаційні навантаження, що діють протягом усього польоту, вплив зовнішнього середовища (вологість, запиленість, опади, сонячна радіація тощо).

Крім цього, на ТС планера можуть впливати досить багато випадкових чинників – особливості пілотування, метеорологічні явища під час польоту, стан злітно-посадкової смуги (ЗПС) при зльотах і посадках, якість ТО.

Аналіз характеру пошкоджень, що виникають у конструкції планера, дозволяє назвати кілька типових їх причин: втомні пошкодження напруги, фізичний знос унаслідок тертя або корозії, вплив навколишнього середовища, випадкові одиничні ушкодження.

Отже, розглянемо типові пошкодження.

• Тріщини, деформації та руйнування від впливу повторно-змінних навантажень і вібрацій. Як правило, це втомні тріщини, що виникають в обшивці, в нервюрах, шпангоутах, лонжеронах, у місцях концентраторів напружень і впливу зосереджених навантажень, наприклад, вузлів навішування шасі, закрилків, передкрилків, кермових поверхонь тощо.

Загалом (рис. 1.1) розвиток тріщини має характер, аналогічний зносу, з трьома вираженими зонами розвитку:

- перша – зона виникнення тріщини, спочатку з високою швидкістю розвитку тріщини, яка потім поступово спадає;
- друга – період сталого розвитку тріщини;
- третя – катастрофічне наростання тріщини, що завершується руйнуванням конструкції.

• Тріщини, деформації та руйнування від надмірних перевантажень (грубі посадки, потрапляння в зону грози, турбулентності, маневрені перевантаження). На рис. 1.2 наведено приклади тріщин та руйнування за результатами оцінювання ТС ПС в умовах реальної експлуатації.



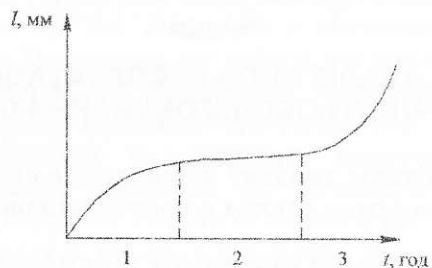


Рис. 1.1. Типовий характер розвитку втомної тріщини в обшивці:  
 $l$  – розмір тріщини;  $t$  – напруцювання

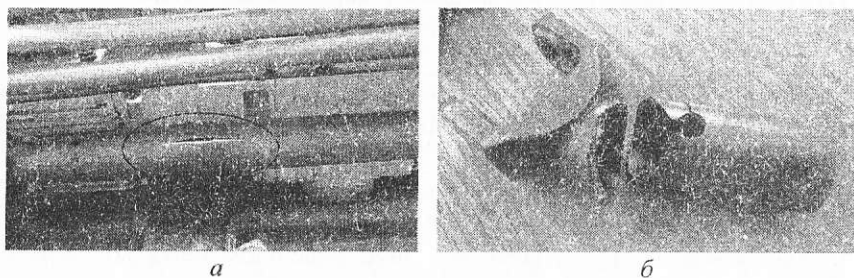


Рис. 1.2. Типові тріщини та руйнування виробів авіаційної техніки:  
 $a$  – тріщина тяги системи керування літаком;  
 $b$  – руйнування провущини системи механізації крила

• Корозійні пошкодження. Різні види механічного зносу внаслідок тривалого впливу змінних навантажень (рис. 1.3):

- люфти, зазори рухомих з'єднань (шарніри);
- ослаблення болтів і заклепок;
- потертості елементів конструкції.

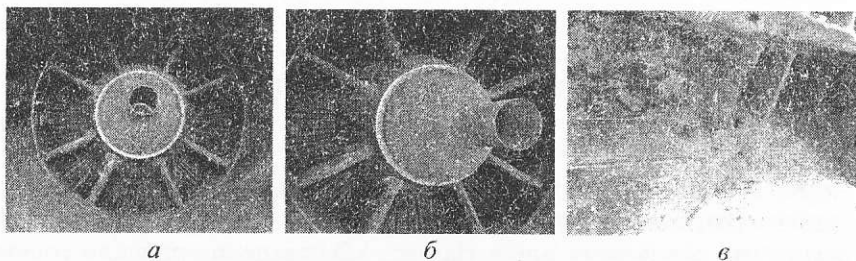


Рис. 1.3. Корозійно-ерозійний знос вузла турбіни ( $a, b$ ) та руйнівна корозія силового елемента ( $c$ ) планера літака

• Несправності внаслідок старіння деталей з органічних матеріалів (гуми, пластмаси, композитів та ін.). Особливість таких несправностей полягає в тому, що вони розвиваються повільно, приховано, а виникають стрибкоподібно і раптово. Провокують їх кліматичні умови, зміна температури, вологість, опади, радіація, пил.

• Механічні пошкодження (вм'ятини, забоїни) конструктивних елементів планера, викликані не тільки ударами засобами та інструментом при ТО, а і в повітрі (зіткнення з птахами, потрапляння ПС у складні кліматичні умови, наприклад: град, попадання блискавки) (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Вм'ятини вузла з пошкодженням шару лакофарбового покриття

## 1.2. Корозія, її причини, наслідки, методи запобігання та усунення

Корозійні пошкодження конструктивних елементів планера повітряного судна виникають у результаті впливу зовнішнього середовища (рис. 1.5–1.6).

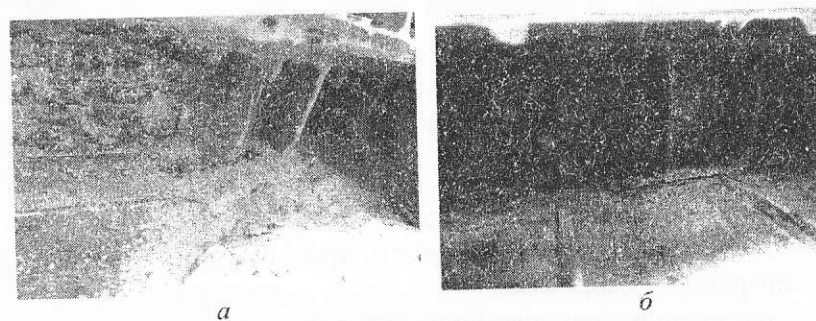


Рис. 1.5. Результати корозійного впливу на панелі обшивки ( $a$ ) та повздожній силовий набір ( $b$ ) конструкції планера ПС

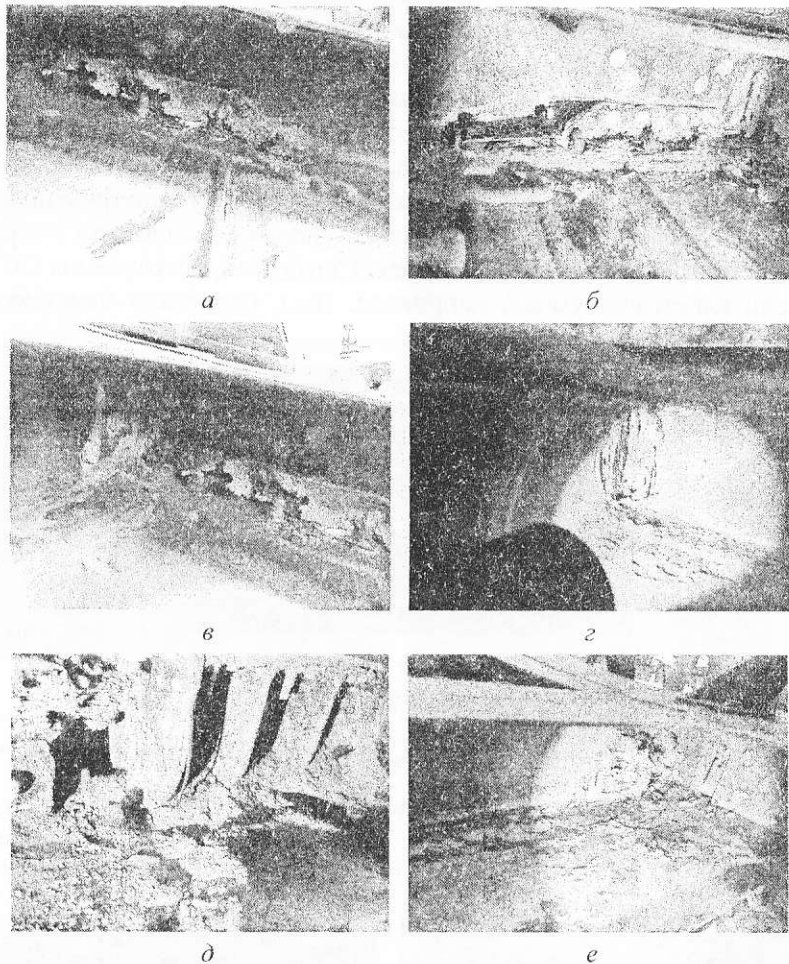


Рис. 1.6. Наслідки корозійного впливу на обшивку: повздовжній та поперечний силові набори конструкції планера ПС

Розвиток корозії (у разі несвоєчасного її усунення) призводить:

- до зниження міцності через зменшення перетину;
- до зниження втомної міцності, тому що вогнище корозії є концентратором напружень;
- погіршення аеродинамічних якостей несучих поверхонь;
- осередки корозії гігроскопічні, тому корозія розвивається пришвидшено;

– при змінних напруженнях відбувається руйнування поверхневої захисної окисної плівки; крізь тріщини проникає волога і процес корозії пришвидшується.

*Чинники, що призводять до корозії:*

- волога в будь-якому вигляді;
- зміна температури в часі і просторі (сприяє осадженню вологи на елементах конструкції ПС та його компонентів);
- солі, кислоти, луги, органічні розчинники;
- пил, бруд;
- сонячна радіація;
- вихлопні гази від двигуна;
- пошкодження лакофарбового покриття (ЛФП).

Найімовірніші місця ураження корозією внутрішніх поверхонь планера:

- підпільна частина фюзеляжу (багажники і технічні відсіки);
  - стики між герметичними і негерметичними частинами фюзеляжу;
  - зони буфетів та туалетів;
  - місця установа акумуляторів;
  - місця установа випускних клапанів системи регулювання тиску (СРТ);
  - ділянки контакту металів з гігроскопічними матеріалами (тепло- і звукоізоляція, прокладки тощо);
  - ділянки контакту металів з різним потенціалом;
  - стики крила із центропланом або фюзеляжем.
- Із зовнішнього боку планера найбільше уражаються корозією:
- місця скупчення пилу, бруду і вологи (ніші шасі, нижня поверхня фюзеляжу);
  - місця попадання на обшивку кислот, лугів, паливно-мастильних матеріалів (ПММ) (нижня поверхня крила, мотогондоли);
  - ділянки конструкції з механічними пошкодженнями;
  - ділянки, що перебувають під впливом вихлопних газів.

*Конструктивні заходи щодо запобігання корозії:*

- захисні покриття на матеріалах і металах (анодування, хромування, нікелювання);
- нанесення ЛФП;
- поліпшення підпільної вентиляції;
- підвищення температури повітря у відсіках, де накопичується волога;

– установа спеціальних дренажних отворів і клапанів для видалення вологи.

*Експлуатаційні заходи щодо попередження корозії:*

- утримання поверхонь у чистоті без пилу, бруду, вологи;
- запобігання попаданню ПММ, кислот, лугів;
- збереження ЛФП від пошкоджень;
- провітрювання кабін, багажних приміщень, відсіків шляхом відчинення дверей, люків;
- регулярне очищення дренажних клапанів і отворів;
- завішування чохлами поверхонь при тривалих стоянках.

Для виконання цих заходів необхідно дотримуватися таких правил:

- ходити по обшивці тільки в м'якому взутті або по килимках;
- ходити по крилу тільки в місцях, встановлених керівництвом з експлуатації;
- під час роботи на обшивці використовувати спеціальні килимки;
- використовувати драбини і сходи, які в місцях торкання обшивки обшиті м'якою тканиною або гумою;
- не класти на обшивку деталі, інструмент і ганчір'я, просочене бензином, керосином, мастилом тощо;
- зняті з літака кермові поверхні, закрилки, панелі укладати тільки на підставки або стелажі, але не на голу поверхню;
- у разі зняття чохлів і килимків згортати їх на літаку;
- не видаляти лід і сніг з обшивки механічним способом;
- стежити за чистотою дренажних отворів;
- регулярно (з певною періодичністю) мити поверхні літака;
- вологу видаляти протиранням ганчір'ям, а в недоступних місцях воду видаляти шприцами або продуванням гарячим повітрям;
- кислоти, луги, розчинники, що потрапили на поверхню, негайно видаляти, тобто промити і вигерти, і за тими місцями, куди вона потрапила, стежити протягом місяця;
- при встановленні чохлів, вони і поверхня літака повинні бути чистими.

*Ознаки корозії:*

- на деталях з алюмінієвих сплавів – поява білих і сірих плям, ізованих виразок і окремих чорних раковин;
- на деталях з магнієвих сплавів – поява вологого сольового нальоту брудно-білого кольору;

- на сталевих деталях – поява коричнево-червоного нальоту іржі;
- під шаром ЛФП – спучування у вигляді темних горбків.

Корозія виявляється візуально, а в недоступних місцях – за допомогою переносної рентгенівської установки.

Видаляється корозія тільки м'якими щітками, але не металевими і не наждачним папером, після чого наноситься ЛФП.

Якщо температура повітря нижче +5 °С, замість ЛФП наноситься мастило, а з підвищенням температури за першої нагоди мастило видаляється і наноситься ЛФП.

### 1.3. Технічне обслуговування обшивки

В умовах експлуатації при ТО особливу увагу слід приділяти:

- заклепковим швам;
- місцям, що обдуваються вихлопними газами;
- місцям зливу конденсату;
- дренажним отворам;
- вирізам під вікна, люки, двері.

У цих місцях можливі тріщини, вм'ятини, забоїни, подряпини, пошкодження ЛФП. На елементах стільникової конструкції можливі непроклеєні зони, які виявляються постукуванням або за допомогою імпедансно-акустичного контролю. На обшивці крила в місцях механізації можливі потертості.

Особливо ретельний контроль потрібен за обшивкою герметичних кабін. Глибина подряпин замірюється індикаторним пристроєм (рис. 1.7). Подряпини завглибшки до 0,1–0,15 мм (залежно від товщини обшивки) не ремонтуються, а тільки зачищаються з відновленням ЛФП.

При більш глибоких подряпинах (до 0,6 мм) такі місця ремонтують за допомогою підсилювальних накладок з внутрішнього боку. Якщо глибина перевищує 0,6 мм, така ділянка обшивки замінюється.

Ослаблені заклепки зменшують міцність шва і герметичність, призводять до виникнення концентраторів напружень.

*Ознаки ослаблення заклепок:*

- темні сліди навколо головок заклепок;
- загин назовні країв потайних заклепок;
- спучування, відшарування ЛФП навколо головки.

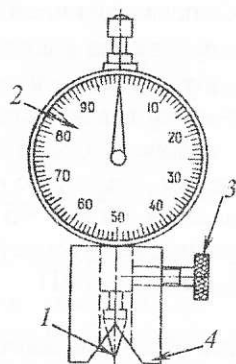


Рис. 1.7. Прилад для вимірювання глибини подряпини:  
1 – голка; 2 – індикатор; 3 – гвинт; 4 – основа

Ослаблені заклепки підтягують (підклепують). Якщо це зробити не вдасться, то їх висвердлюють і ставлять нові заклепки більшого діаметра. Під час відновлення клепанних швів необхідно дотримуватися їх герметизації.

Особливу увагу приділяють утомним тріщинам – вони заносяться до формуляра силових елементів планера, ведеться спостереження за їх розвитком, а тріщини, що повторюються, систематизують для розроблення заходів щодо їх попередження.

Сухий сніг видаляється волосяними щітками, примерзлий сніг і лід – теплою водою або повітрям за температури + 60 ... 70 °С.

#### 1.4. Технічне обслуговування застосування

У конструкції ПС для застосування кабін екіпажу і пасажирських салонів застосовують органічні (з нафтопродуктів) і неорганічні (силікатні) стекла.

Органічне скло має високу прозорість, хорошу світло- і морозостійкість, достатню бензо- і мастильну стійкість і зберігають свої властивості від мінус 60 °С до плюс 60 °С.

Силікатне скло має більшу теплостійкість, ніж органічне скло, однак воно більш ламке. Крім того, воно міцніше, але важче.

Відтак, в авіації застосовується комбіноване скло «Триплекс» – два шари силікатного скла і шар м'якого органічного скла між ними. Деякі з них мають електричний обігрів.

Місця установлення скла герметизують.

#### Характерні дефекти органічного скла:

– відлипання склеювального шару від скла – відставання склеювального шару від внутрішніх поверхонь скла зі слабо матовим відтінком невизначеної форми, що проявляється у відображеному світлі;

– бульбашки – видимі вкраплення газів у склі, які з'являються в результаті витікання клейкої плівки;

– «срібло» – ділянки поверхонь органічного скла, на яких з'являється велика кількість дрібних смужок-тріщин (завглибшки до 0,5 мм), що надають склу сріблястого блиску та розміщені паралельно або хаотично;

– тріщини;

– жовтизна.

Технологічними рекомендаціями для кожного типу ПС визначені граничні глибина, ширина, довжина подряпин і забоїн. Якщо їх параметри не виходять за межі допуску, такі пошкодження усуваються шляхом зачищення з обов'язковим наступним поліруванням. Тріщини на силовому склі не допускаються. У разі виявлення ділянки зі «сріблом», яка поширюється з плином часу, скло замінюють. Потертості під закладенням не контролюються. Жовтизна не є дефектом, і скло допускається до експлуатації без обмежень.

Силікатні стекла використовуються у лобовому застосуванні кабін екіпажу. Оскільки такі стекла мають значну крихкість, то використовується комбіноване скло (триплекс), що складається з двох шарів силікатного скла і м'якого шару органічного скла між ними.

#### Характерні дефекти силікатного скла:

– (виколвання) виколки – точкове пошкодження поверхні скла, що являє собою западину у вигляді раковини без розбіжних тріщин;

– подряпини – пошкодження поверхні скла (у вигляді системи безперервних виколок), помітне неозброєним оком у прохідному розсіяному світлі на відстані 250–400 мм. Волосяна подряпина – подряпина завширшки до 0,1 мм. Груба подряпина – подряпина завширшки понад 0,1 мм;

– відколи – місцеве пошкодження скла у вигляді раковин у площині шару, що склеює, або під герметиком склоблока;

– осипання фасок – дрібні відколи по торцях зовнішніх і внутрішніх стекол до 0,5 мм;

– тріщина – порушення цілісності скла;

– одліплювання склеювального шару від скла – відставання склеювального шару від внутрішніх поверхонь скла зі слабо матовим відтінком невизначеної форми;

- пазир у склеювальному шарі – домішка газу;
- одліплювання герметика від скла – відставання матеріалу від скла або рамки виробу.

До експлуатації не допускаються стекла, що мають одліплювання струмопровідної плівки, іскріння електронагрівального елемента, тріщини зовнішнього і внутрішнього стекол.

*Типові роботи під час технічного обслуговування:*

- дефектація;
- очищення;
- усунення ослаблення кріплень;
- заміна дефектного скла;
- полірування органічного скла спеціальною пастою за спеціальними технологіями.

*Запобіжні заходи:*

- оберегати від ударів;
- не допускати попадання розчинників, ПММ, фарб;
- мити м'якими серветками з нейтральним милом;
- оберегати від сонячної радіації, опадів і механічних пошкоджень, відтак рекомендується скло зачохлити;
- при протиранні скла не використовувати вовняні і шовкові тканини, а також тканини із синтетичних матеріалів;
- лід і примерзлий сніг видаляти теплим повітрям за температури не вище + 50 °С або водою, температура якої не повинна перевищувати + 60 °С.

У разі заміни скла міжскляний простір перевіряють на герметичність шляхом створення вакууму (0,0035–0,006 МПа). Показання манометра не повинні змінюватися більше ніж на 0,0002 МПа за 1 хв. Якщо тиск падає, необхідно замінити ущільнювач.

### 1.5. Технічне обслуговування стикових частин планера

Стикові частини планера: стики фюзеляжу, стики крила (центроплан, середня частина крила, від'ємна частина крила), стики кіля і стабілізатора із центропланом – мають посилені пояси

з фітингами (заглибленнями), у які вкладаються болтові з'єднання. Ці стики прикриті стрічками, залізами, знімними носками.

*Типові пошкодження і несправності:*

- корозія болтового з'єднання і фітинга (див. рис. 1.6);
- ослаблення затягування гайок болтових з'єднань;
- забруднення або витікання мастила;
- забруднення, пошкодження, змінання ниток різьблення;
- вісімка і неповне прилягання головок болтів і гайок;
- тріщини, вм'ятини, інші пошкодження на стрічках, залізах і носках.

*Типові роботи під час технічного обслуговування:*

- дефектація;
- заміна болтів;
- заміна мастила;
- усунення корозії;
- підтягування болтових з'єднань із певним моментом затягування за допомогою динамометричних тарованих ключів (рис. 1.8–1.10), які один раз на місяць таруються на спеціальній установці.

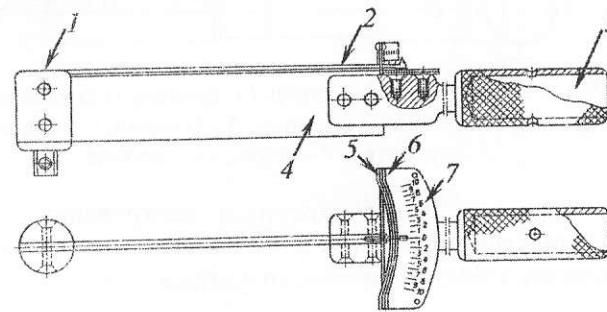


Рис. 1.8. Динамометричний ключ зі шкалою-показчиком крутного моменту: 1 – головка; 2 – стрілка; 3 – рукоятка; 4 – стрижень; 5 – задня шкала; 6 – передня шкала; 7 – горизонтальна шкала

Момент затягування встановлюється залежно від матеріалу болтового з'єднання, діаметра, параметрів різьби і умов роботи (розтягування, зрізання, змінання). Підтягування проводиться поступово і в порядку один проти одного, щоб уникнути перекосів і перевантажень.

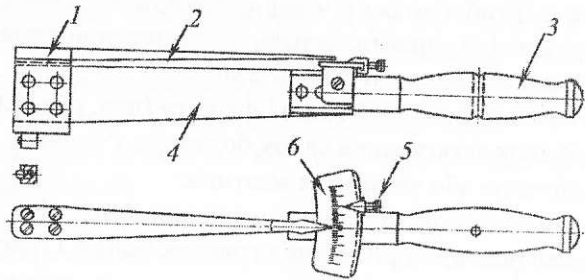


Рис. 1.9. Динамометричний ключ зі шкалою-показчиком необхідного крутного моменту: 1 – головка; 2 – стрілка; 3 – рукоятка; 4 – лінійка; 5 – показчик; 6 – шкала

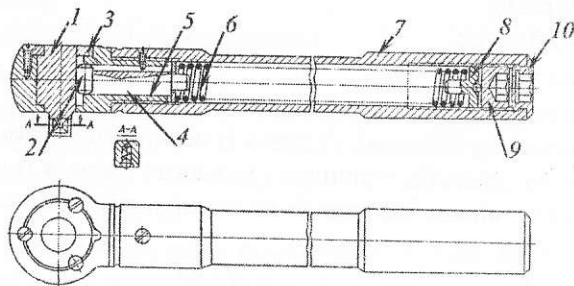


Рис. 1.10. Тарувальний ключ: 1 – кулачок із квадратом; 2 – ролик; 3 – шайба; 4, 8 – упор; 5 – головка; 6 – пружина; 7 – рукоятка; 9 – гайка; 10 – пробка

Обов'язково слід використовувати контрування того самого типу, яке зазначене у технічній документації. У разі заміни болти і контрування повторно не використовуються.

### 1.6. Особливості технічного обслуговування у разі виникнення особливих умов польоту

До особливих умов польоту належать:

- політ з перевищенням допустимих експлуатаційних перевантажень (у тому числі в зоні інтенсивної турбулентності атмосфери);
- груба посадка;
- посадка з масою, що перевищує максимальну посадкову масу;
- вплив на літак атмосферного електричного розряду;

- потрапляння літака в зливні опади і град;
- потрапляння літака в пилову чи снігову бурю або обмерзання (на землі або в польоті);
- перерваний зліт;
- зіткнення літака з птахами (сторонніми предметами).

У цих випадках виконується спеціальне ТО (додатково до чергової форми ТО). Результати огляду оформляють технічним актом і записують у формуляр літака. На підставі акту приймається рішення про наступну експлуатацію ПС.

Водночас перевіряються:

- чи немає зміщення зосереджених мас щодо вузлів кріплення. Перевірка виконується прямим або непрямим методом, наприклад, по зазору між елероном і закінцівкою крила, елероном і закрилками (рис. 1.11);
- люфти в СК і механізації;
- положення (зміщення) двигунів у вузлах кріплення;
- справність і працездатність замків прибраного положення (під час польоту в турбулентній атмосфері) і випущеного положення (при грубій посадці).

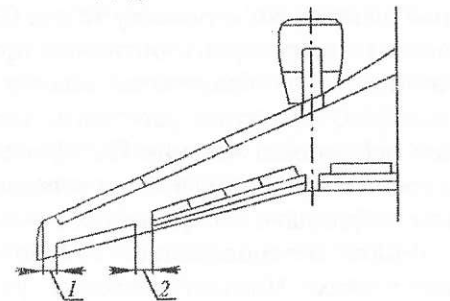


Рис. 1.11. Схема зазорів у хвостовій частині крила: 1 – між закінцівкою і елероном; 2 – між елероном і закрилком

В особливих випадках доводиться виконувати нівелювання літака, тобто перевіряти взаємне розташування нівелювальних (реперних) точок на ПС. Такі випадки фіксують у бортовому журналі за доповідями екіпажу і за засобами контролю.

Нівелюванням називають операцію з визначення геометричних параметрів ПС, які характеризують взаємне положення частин ПС відносно його будівельної горизонталі.

Нівелювання проводиться з метою перевірки геометричних характеристик ПС, виявлення залишкових деформацій конструкцій, що можуть виникати після грубої посадки, польоту в турбулентній атмосфері, перевірки якості ремонту при (після) ремонтних наземних випробуваннях, у разі заміни частини оперення.

Для визначення положення окремих частин ПС відносно будівельної горизонталі на кресленнях загального виду ПС розробляють нівелювальні креслення. На нівелювальних кресленнях геометричні параметри ПС виражаються через положення спеціальних точок, які називають реперними точками і які при нівелюванні є технологічними вимірювальними базами.

Нівелювання виконується в ангарі, або за умови безвітряної погоди, на відкритій площадці з твердим покриттям.

Нівелювання проводять із випущеними шасі. Перед нівелюванням з ПС знімають зайве обладнання, зливають ПММ. За допомогою гідравлічних або механічних піднімачів ПС піднімається до відриву коліс від землі і встановлюють у лінію польоту так, щоб його поперечна і повздовжня осі були у горизонтальній площині.

Для встановлення літака в лінію польоту та для безпосереднього виконання нівелювання застосовують оптичний прилад «нівелір» та нівелювальну лінійку. При нівелюванні нівелір встановлюють спереду ПС на відстані, достатній для того, щоб в окулярах нівеліра було видно всі основні частини ПС: фюзеляж, СУ, шасі, крило, хвостове оперення. При цьому з місця встановлення нівеліра повинні фіксуватися координати всіх реперних точок.

Нівелювальна лінійка встановлюється суворо вертикально і точно у реперних точках. Числові значення реперних точок, визначені відносно будівельної горизонталі, містяться у спеціальних нівелювальних картах на конкретний тип ПС. Отримані при нівелюванні дані вимірювань відносно осі візування нівеліра порівнюють із даними нівелювальної карти. Виявлені відхилення усувають різними для кожного конкретного випадку способами. Відповідні рекомендації даються в технології ремонту ПС.

У процесі нівелювання літака визначають нівелювальні параметри фюзеляжу, центроплана, крила, шасі, хвостового оперення, СУ.

Нівелювання вертольотів має певні відмінності. Його виконують із знятими лопатями несучого гвинта (НГ), без ПММ та з

установленим хвостовим гвинтом. У вертольотів нівелюють хвостові та кінцеві балки, головний, проміжний і хвостовий редуктори, шасі та окремі частини фюзеляжу.

На рис. 1.12 показано загальну схему нівелювання літака за допомогою оптичного нівеліра.



Рис. 1.12. Загальна схема нівелювання планера літака оптичним нівеліром

У серійному виробництві нівелювання ПС виконують після остаточного складання, перед відправленням ПС на льотні випробування. З метою механізації процесу для нівелювання застосовують нівелювальні стенди, які за допомогою системи реперних пристроїв дають можливість без спеціальних засобів визначити відхилення від номіналу реперних точок ПС.

Останнім часом із безконтактних методів нівелювання використовують лазерні центрувальні вимірювальні системи (ЛЦВС). Як нівелювальні засоби використовують високоточні лазерні нівеліри ЛГС-1 або випромінювані ЛЦВС. Лазерне випромінювання сканують пентапризмою, що дає змогу створити в процесі світлову площину, відносно якої визначають розташування нівелювальних баз агрегатів. Лазерний метод нівелювання порівняно з оптичним методом має низку істотних переваг, головними з яких є: більша дальність вимірювань, більш висока точність, продуктивність і об'єктивність контролю.

На рис. 1.13–1.14 подано схеми перевірки за допомогою ЛЦВС осі симетрії літака і вертикального положення кіля та розташовано реперні точки на консолях крила літака.

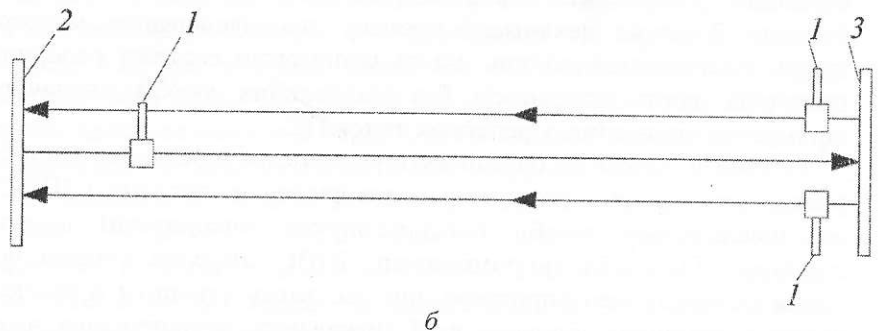
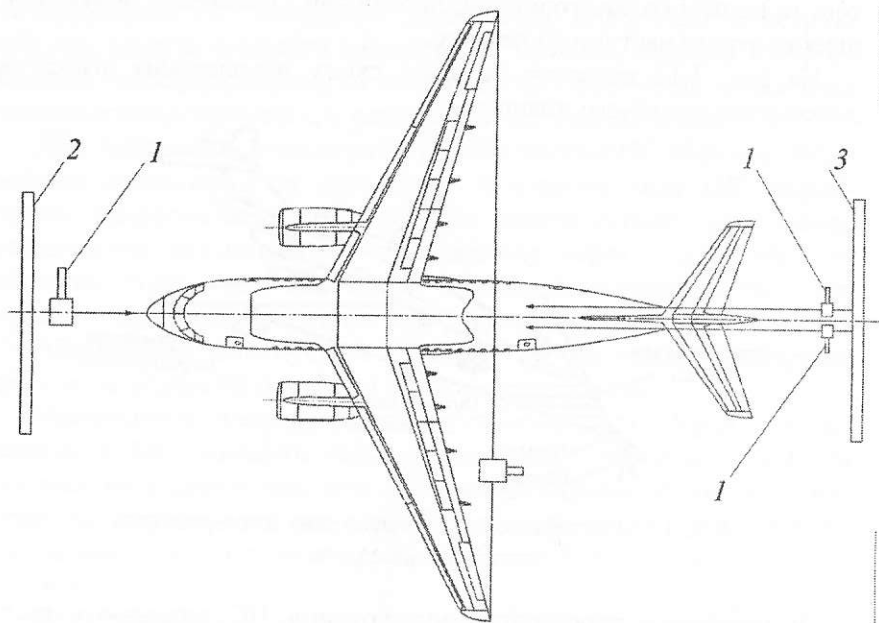


Рис. 1.13. Перевірка осі симетрії літака і вертикального положення кіля за допомогою ЛЦВС: а – схема перевірки літака; б – схема налаштування ЛЦВС; 1 – лазерні випромінювачі з пентопризмами; 2, 3 – технологічні координатні площини

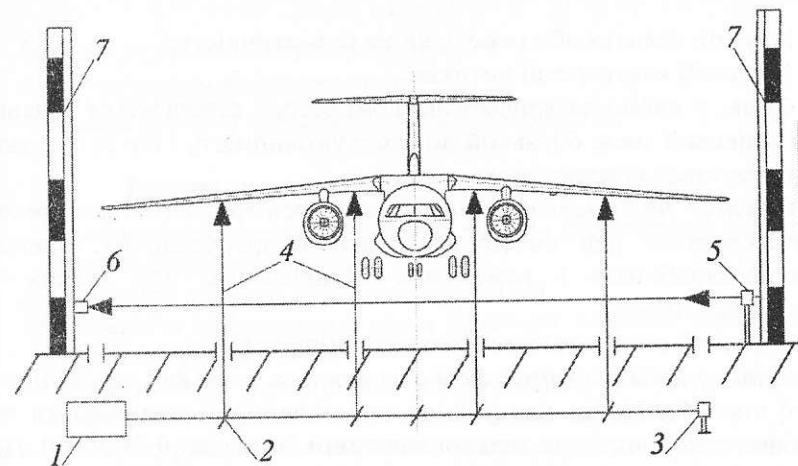


Рис. 1.14. Перевірка розташування реперних точок на консолях крила літака за допомогою ЛЦВС: 1 – лазерний випромінювач; 2 – пентапризма з клином; 3 – базовий чутливий цільовий знак (ПЧЦЗ); 4 – вертикальні промені; 5 – випромінювальний ПЧЦЗ; 6 – сприймаючий ПЧЦЗ; 7 – координатні розрахункові лінії

### 1.7. Перевірка кабін на герметичність

Кабіни не є абсолютно герметичними. Допускається деякий витік повітря з розрахунку 2–6 кг/м<sup>3</sup>, який встановлений так, щоб забезпечити життєдіяльність у разі раптової розгерметизації кабін і зниження до безпечної висоти. Повітря постійно надходить у кабінку від компресорів двигунів і виходить частково через нещільності і частково через випускні клапани з метою регулювання зміни тиску в кабінку з висотою за заданим законом. Якщо негерметичність виходить за норми, то такий закон не буде витримуватися, що небезпечно.

У процесі експлуатації внаслідок зносу, старіння матеріалів, втомних явищ погіршується герметичність. Тому періодично, зазвичай при капітальному ремонті, а також після великого ремонту гермообшивки і заміни трьох і більше стекол, проводиться перевірка на герметичність.

Мета перевірки – порівняти реальні витіки з допустимими значеннями витрати повітря.

Можливі місця розгерметизації: заклепкові шви; стикові вузли; окантовка вікон, люків, дверей, багажників; герметичні виводи (ГВ).



Існують два способи перевірки на герметичність:

1. Спосіб компенсації витоків.

*Суть:* у кабіні за допомогою компресора створюється заданий надлишковий тиск, близький до експлуатаційного, і потім цей тиск підтримується компресором.

*Ступінь негерметичності:* витрата повітря через компресор. Застосовується цей спосіб на льотно-випробувальних станціях заводів-виробників і ремонтних підприємств, для легких та військових літаків.

2. Спосіб вимірювання швидкості зміни тиску.

*Суть:* у кабіні компресором створюється близький до номінального тиск  $P_k$ . Потім наддування припиняється і замірюється час падіння тиску від  $P_k$  до заданої величини (зазвичай 0,01 МПа). Цей час порівнюється з нормативним.

*Порядок виконання перевірки:*

- готується компресор і обладнання до роботи;
- видаляються сторонні особи і обладнання;
- регулятор тиску ставиться в положення «Перевірка»;
- прилади з анероїдною коробкою заглушуються або знімаються;
- літак герметизується, тобто закриваються всі люки і двері;
- підключаються компресор і прилади контролю (манометри, варіометри);
- створюється потрібний тиск і вимикається компресор;
- замірюється час падіння тиску.

При подачі в кабіну компресором повітря потрібно підтримувати швидкість зміни тиску не більше ніж 0,075 Па в секунду.

*Можливі місця витоків:*

- заклепкові шви;
- окантовка вікон, люків, дверей;
- герметичні виводи.

*Методи відшукування місць витоків:*

- на слух (по свисту при великих витоках);
- нанесенням мильної піни (за появою бульбашок);
- гумовими присосками (швидко відпадають у місцях негерметичності);

– на ремонтних заводах шляхом додавання в повітря кабіни парів фреону і вимірювання іонів фреону ззовні галоїдними течешукачами.

*Методи усунення негерметичності:*

- підтягування клепаних швів;
- заміна гумових профілів, ущільнювачів і ГВ.

*Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Охарактеризуйте типові пошкодження та несправності конструктивних елементів планера.
2. Розкрийте причини корозії і шкоду від неї.
3. Перелічіть найімовірніші місця ураження корозією внутрішніх і зовнішніх поверхонь ПС.
4. Назвіть ознаки корозії різних конструкційних матеріалів, методи її виявлення і видалення.
5. Які конструктивні заходи вживаються для запобігання планера від корозії?
6. Назвіть експлуатаційні заходи щодо попередження корозії.
7. Перелічіть можливі пошкодження обшивки і місця їх виникнення.
8. Які ознаки ослаблення заклепок і способи усунення ослаблення?
9. Назвіть типові пошкодження та несправності органічного скла.
10. Назвіть типові пошкодження та несправності силікатного скла.
11. У чому полягають типові роботи під час ТО засклення і запобіжні заходи при виконанні цих робіт?
12. Охарактеризуйте типові пошкодження і несправності стикових частин планера.
13. Назвіть типові роботи при ТО стикових частин планера.
14. Розкрийте особливості ТО планера і шасі після польоту в турбулентній атмосфері і під час грубої посадки.
15. Назвіть причини і можливі місця втрати герметичності кабіни.
16. Які методи застосовують для перевірки кабіни на герметичність?
17. Який порядок перевірки кабіни на герметичність?
18. Укажіть методи відшукування витоків і усунення негерметичності кабіни.

## Розділ 2

### ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Система життєзабезпечення призначена для виконання необхідних умов життєдіяльності екіпажу і пасажирів ПС впродовж усього польоту. Її завданням є підтримання необхідних значень тиску, швидкості зміни тиску, температури, вологості, швидкості руху і витрачання повітря, парціального тиску кисню тощо. Ці завдання вирішуються за допомогою підсистем:

- кондиціонування – наддування, вентилявання і обігрівання;
- регулювання тиску;
- регулювання температури;
- кисневої – забезпечує киснем екіпаж і пасажирів у разі розгерметизації або кисневого голодування;
- спецобладнання для кухні, обігріву туалетів, обігріву допоміжної силової установки (ДСУ), наземного кондиціонування.

#### 2.1. Технічне обслуговування системи кондиціонування

У систему кондиціонування повітря (СКП) входять такі агрегати:

- трубопроводи;
- заслінки;
- крани;
- зворотні клапани;
- регулятори тиску;
- регулятор температури;
- турбоохолодильна установка (ТХУ);
- радіатори;
- розподільники;
- змішувачі;
- компенсатори;
- патрубки;
- насадки;
- глушники шуму.

У процесі експлуатації на перелічені агрегати впливають такі чинники:

1. Висока температура. При відборі повітря від компресора двигуна вона може дорівнювати 250–350 °С, потім знижується в радіаторі (перший контур охолодження) і ТХУ (другий контур охолодження). На вході в кабіну температура повітря становить 10–60 °С.

2. Високий надлишковий тиск повітря всередині агрегатів і трубопроводів. При відборі від двигуна тиск становить 7–9 кг/см<sup>2</sup> (0,7–0,9 МПа), потім у регуляторі тиск знижується до 2,5–3,5 кг/см<sup>2</sup> (0,25–0,35 МПа), і в кабіні тиск дорівнює 0,3–0,7 кг/см<sup>2</sup> (0,3–0,7 МПа), (залежно від типу ПС).

3. Вібрації від двигунів (агрегати, встановлені в мотогондолі).

4. Повторно-змінні навантаження на агрегати, встановлені в крилі.

5. Кліматичні чинники – температура, тиск, вологість.

6. Умови зовнішнього середовища – пил, бруд.

7. Якість ТО і льотної експлуатації:

- своєчасність і якість регулювань і перевірок;
- організація ТО;
- правильність використання в польоті.

*Основні роботи при ТО:*

1. Перевірка працездатності системи на землі. На літаках, на яких система на землі не експлуатується, суть перевірки полягає в подаванні електроживлення і перемиканні виконавчих механізмів у крайні положення (відчинено-зачинено). Водночас повинні загорітися лампочки або спрацювати інші сигналізатори. На літаках, де система вмикається на землі, суть перевірки полягає у відборі повітря, подаванні його в кабіну і контролі температури і витрати повітря за приладами.

2. Перевірка стану агрегатів системи. При цьому можливі:

- механічні пошкодження;
- порушення кріплення;
- витікання повітря на стиках (потемніння в місцях витоку).

3. Перевірка стану трубопроводів.

*Не допускаються:*

- тріщини;
- ослаблення хомутив кріплення;
- гофрування більше норми;
- пошкодження теплоізоляції;
- подряпини, забоїни, потертості більше норми.

#### 4. Перевірка герметичності трубопроводів.

*Способи:*

- по слідах потемніння в місцях виходу гарячого повітря;
- рукою на дотик при увімкненій системі;
- обпресуванням ділянок трубопроводів. *Суть:* на один кінець ділянки ставиться глуха заглушка, а на інший – заглушка зі штуцером, через який подається стиснене повітря від компресора. Перевіряють час падіння тиску повітря до заданої величини.

5. Перевірка обпресуванням окремого стику між двома трубопроводами. *Суть:* аналогічно попередньому, але тільки стик поміщають у ванну з водою і витік визначають за появою бульбашок повітря.

6. Перевірка стану та герметичності повітряно-повітряного радіатора (ППР).

*Перевіряють:*

- надійність кріплення;
- герметичність стиків;
- герметичність самого ППР. *Суть:* зняти ППР, поставити заглушки на штуцери, створити тиск, помістити у ванну з водою.

Негерметичність визначається за бульбашками. Побічно оцінити герметичність можна по підвищенню температури охолоджувального атмосферного повітря на виході, коли в нього потрапляє охолоджене гаряче повітря.

7. Перевірка ТС ТХУ. Принципову схему цього агрегата показано на рис. 2.1.

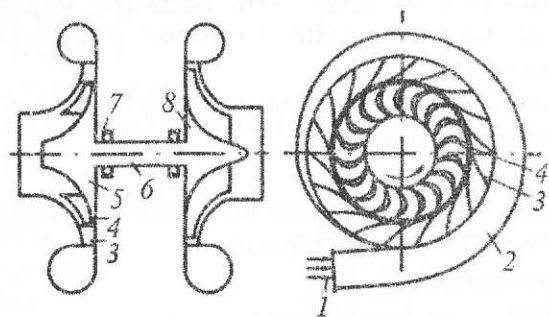


Рис. 2.1. Принципова схема ТХУ:

- 1 – патрубок; 2 – равлик; 3 – сопловий апарат;  
4 – лопатки робочого колеса; 5 – робоче колесо турбіни; 6 – вал;  
7 – підшипник; 8 – робоче колесо компресора (вентилятора)

Повітря надходить через патрубок 1 і равлик 2 до лопаток соплового апарата і робочого колеса 3, доцентрової турбіни 4, де спрацьовується теплоперепад, унаслідок чого відбувається перетворення енергії потоку повітря в механічну роботу на валу та зменшуються температура і тиск повітря. Щоб врівноважити крутний момент на турбіні, на її валу встановлюють, як правило, відцентровий ступінь компресора (вентилятора) 8. Стиснуте повітря у вентиляторі використовується на літакові потреби (наприклад, у систему протиобледеніння). Частота обертання ротора ТХУ дуже висока і становить до 10 000 об/хв, а гранична – до 20 000 об/хв.

У процесі експлуатації ТХУ контролюють рівень мастила по рисках рівнеміра (за шкалою на мастиловимірному склі) і за необхідності доливають його або замінюють.

Під час огляду ТХУ звертають увагу на надійність кріплення, відсутність слідів підтікання зі з'єднань. Також перевіряють легкість і безшумність руху ротора турбіни, який повинен бути плавним, без суттєвого гальмування, інакше ТХУ відправляють у ремонт.

Демонтаж і монтаж агрегатів здійснюються при виході їх з ладу.

**Примітки.** 1. Пружні компенсатори ставляться в стислому стані, тому необхідно стежити за безпекою роботи. 2. Кульові компенсатори і зворотні клапани ставити так, щоб стрілки на їх корпусах ішли у напрямку повітря. 3. Пелюстки на зворотних клапанах повинні провисати під власною вагою.

## 2.2. Технічне обслуговування системи регулювання тиску

Система регулювання тиску містить такі агрегати:

1. Регулятори тиску (командні прилади), що складаються з трьох вузлів: вузла підтримання абсолютного тиску, вузла підтримання заданого надлишкового тиску, вузла підтримання швидкості зміни тиску.

2. Випускні клапани, що перебувають під підлогою, число яких залежить від об'єму кабіни (2–5 штук). На клапанах є повітряні фільтри, через які надходить повітря з кабіни.

3. Шланги, тонкотрубна проводка (статичні, атмосферні, керуючі лінії).

#### 4. Електроклапан для аварійного скидання тиску.

Типові несправності системи і їх причини:

##### 1. Негерметичність вузлів і агрегатів.

##### 2. Забруднення каналів проходження повітря (сопел, калібро-

ваних отворів) такими продуктами:

- волокнами теплозвукоізоляції;
- ворсинками тканини килимів;
- пилом;
- смолистими речовинами.

Ці пошкодження призводять до зниження тиску повітря в кабіні.

Причини:

- недостатня герметичність кабіни;
- несправність СРТ;
- падіння тиску в кабіні до нуля (швидке падіння, причина – розгерметизація кабіни; уповільнене падіння, причина – несправність СРТ);

• підвищений тиск повітря в кабіні, що небезпечно, тому що виникають підвищені навантаження на кабіну. Причина – розрегулювання командного приладу.

3. Збільшення або зменшення швидкості зміни тиску в кабіні (норма 0,00135 Па/с). Якщо швидкість зміни тиску більше норми, то з'являються хворобливі відчуття у вухах. На рис. 2.2 наведено типовий графік зміни тиску в кабіні під час підймання на висоту.

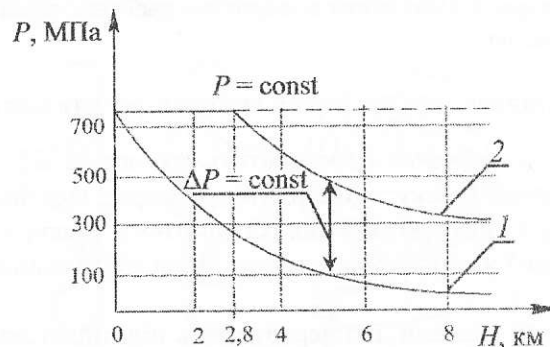


Рис. 2.2. Типовий графік зміни тиску під час підймання на висоту в герметичній кабіні пасажирського літака:  $P$  – тиск;  $H$  – висота польоту; 1 – зміна атмосферного тиску; 2 – зміна тиску в герметичній кабіні

Основні роботи при ТО:

##### 1. Перевірка стану агрегатів щодо:

- механічних пошкоджень;
- надійності кріплення;
- цілісності контрування;
- герметичності стиків.

2. Перевірка й установка шкал вузлів командних приладів на потрібне значення.

3. Перевірка положення триходового перемикача регулятора тиску (в польоті має бути у ввімкненому положенні).

##### 4. Перевірка випускних клапанів:

- цілісність прилягання тарілки до сідла;
- чистота поверхні тарілки і сідла (за необхідності промивають серветкою з бензином);

– чистота повітряного фільтра, що подає повітря із кабіни до клапанів. Перевірка виконується за часом опускання тарілки з верхнього положення на сідло. Цей час нормується (40–70 с). Якщо час опускання більше – фільтр забруднений і треба його прочистити, якщо менше – розірвана гумова мембрана тарілки.

5. Перевірка працездатності системи при працюючих двигунах або ДСУ (спільно з СКП). Суть перевірки: кабіна герметизується, подається повітря і за кабіним приладом – показником висоти і перепаду тиску – перевіряється відповідність його параметрів і параметрів регулятора тиску.

6. Під час такої перевірки може трапитися перевищення нормативних показників. Можливі причини відсутності наддування кабіни:

- відчинені люки, вікна, двері;
- увімкнений кран аварійного скидання повітря;
- несправні випускні клапани.

Можливі причини збільшення перепаду тиску:

- вимкнений регулятор тиску (командний прилад);
- негерметична тонкотрубна проводка;
- несправні випускні клапани;
- несправний вузол абсолютного тиску регулятора.

7. Перевірка герметичності і відсутності закупорки тонкотрубних трубопроводів. Тонкотрубна проводка складається з трьох ліній:

- 1) статичної лінії – подавання статичного абсолютного тиску;

- 2) атмосферної лінії – подавання атмосферного витратного тиску;
- 3) керуючої лінії – подавання сигналів від командного приладу до випускних клапанів, і зворотний зв'язок.

Перевірка на герметичність виконується за допомогою переносних установок, у які входять поршневий насос з ручним приводом або електроприводом.

Подавання тиску, або вакуумування, цих ліній проводиться через штуцери на борту літака. Герметичність перевіряється за швидкістю зміни тиску на приладах (манометри, висотоміри, покажчики швидкості). Звичайні місця витоків – стики трубопроводів.

8. Перевірка працездатності системи за допомогою вказаних раніше перевірних переносних установок.

*Завдання перевірки:* визначити чи працездатна система, якщо замінені окремі її агрегати; чи немає відхилень від нормальних параметрів тиску.

Прилади під'єднуються до бортових штуцерів. Перевіряються висота і швидкість зміни тиску за показником висоти і перепадом тиску та варіометром.

9. Перевірка працездатності агрегатів, знятих з літака, на спеціальному стенді висотної системи (рис. 2.3) після певного напрацювання, або якщо не витримуються необхідні параметри тиску по висоті.

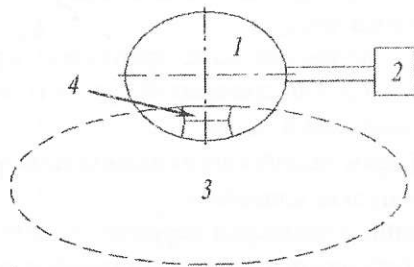


Рис. 2.3. Схема стенда висотної системи:  
1 – гермокабіна ПС; 2 – командний прилад;  
3 – атмосфера; 4 – випускний клапан

Стенд являє собою дві камери, у яких створюються різні тиски, що відповідають різним висотам (камера «Кабіна» і камера «Атмосфера»), з'єднані між собою випускним клапаном.

До камери «Кабіна» під'єднується командний прилад. Якщо перевіряється випускний клапан, то командний прилад повинен бути еталонним, і навпаки. Між камерами створюються перепади тиску, що відповідають різним висотам для даного типу літака.

Для цього в камеру «Кабіна» подається повітря від стаціонарної мережі, компресора або балона, а з камери «Атмосфера» повітря відсмоктується вакуум-насосом.

За допомогою приладів на стенді контролюється точне значення закону зміни тиску, який забезпечують встановлені агрегати. Якщо закон не витримується, це означає, що перевірявся несправний агрегат і його необхідно замінити.

### 2.3. Технічне обслуговування системи регулювання температури

До складу автоматичного регулятора температури (АРТ) входять: задавач температури, розташований у гермокабіні; датчик температури в трубопроводі; електронний блок автоматичного керування і електромеханізм (регульовальна заслінка в трубопроводі). Більшість регуляторів у СКП може не комплектуватися задавачем температури в кабіні і функціонують в автоматичному режимі.

Повітря, що відбирається з компресора, розподіляється на дві лінії: «гарячу» і «холодну». В «гарячій» лінії повітря може частково охолоджуватися, залежно від температури, і через *регулятор витрати повітря* надходить у загальний трубопровід (змішувач).

У «холодній» лінії повітря охолоджується і також надходить у загальний трубопровід, де змішується з «гарячим» повітрям. Співвідношення витрат повітря, що подається в кабіну, «гарячого» і «холодного» повітря визначається положенням заслінок розподільника. Розрізняють такі схеми розподільника або змішувача повітря:

- а) схема з розподільником повітря;
- б) схема зі змішувачем повітря;
- в) схема з одноканальною заслінкою;
- г) схема з розподільним введенням «гарячого» і «холодного» повітря.

Заслінками керують за командою датчика температури.

Робота регулятора температури відбувається так: при відхиленні температури повітря в гермокабіні біметалева спіраль, зміню-

ючи кут закручування, замикає електричний контакт і електричний струм після підсилення надходить на обмотку електродвигуна, який повертає заслінки. Поворот заслінки змінює витрату «гарячого» і «холодного» повітря і призводить до змінювання температури повітря в гермокабіні.

У зв'язку з великою інерційністю біметалевого термодатчика подібні регулятори замінюються на електронні.

*Характерні несправності системи АРТ:*

– коливання і закидання температури повітря в трубопроводах СКП; *причина* – неправильне регулювання часу роботи і пауз електромеханізмів виконавчих органів – розподільних заслінок і змішувачів;

– невідповідність температури повітря, на яку встановлений датчик автоматичного регулятора температури; *причини* – неправильне установлення перемикача режимів роботи, вихід з ладу самого регулятора температури, несправність електропроводки.

*Технічне обслуговування пристроїв системи АРТ* полягає в перевірці працездатності агрегатів, у контролі роботи електромеханізмів, перевірці стану електропроводки, щільності штепсельних роз'ємів, а також заміні агрегатів і демонтажі агрегатів для перевірки.

На літаках, у яких повітря в систему може подаватися від працюючих двигунів або ДСУ, перевірку системи виконують так:

○ вмикають електроживлення системи кондиціонування;  
○ задавачами АРТ встановлюють у СКП температуру 10 °С (влітку), а взимку – 25 °С. Температура повітря, що подається в панелі, не повинна перевищувати 50 °С, щоб не пошкодити декоративну обшивку панелей;

○ встановлюють у відкрите положення крани випускання повітря з кабіни або відчиняють входні двері, або кватирки кабіни пілотів;

○ вмикають подавання повітря в систему – кількість повітря не повинна перевищувати 25 % від номінального значення;

○ перевіряють надходження повітря в кабіну через вентиляційні решітки, насадки індивідуальної вентиляції, жалюзі, патрубки (рукою навпомацки).

### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Які призначення і структура системи життєзабезпечення?
2. Назвіть основні агрегати СКП і чинники, що впливають на їх ТС.
3. Які основні роботи виконують при ТО СКП?
4. Назвіть способи перевірки герметичності трубопроводів СКП і ППР.
5. Які типові агрегати входять у СРТ і які їхні характерні несправності?
6. Охарактеризуйте типовий графік зміни тиску з висотою в герметичній кабіні пасажирського літака.
7. Перелічіть основні роботи при ТО СРТ.
8. У чому полягає суть перевірки випускних клапанів?
9. Як відбувається перевірка працездатності СРТ?
10. Опишіть характерні несправності АРТ.
11. У чому полягають роботи з технічного обслуговування системи АРТ?
12. Наведіть схему стенда висотної системи, охарактеризуйте його призначення і принцип роботи.
13. Який порядок перевірки працездатності агрегатів СРТ з використанням стенда висотної системи?

### Розділ 3

## УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ПІДТРИМАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЛІТАКОМ

Система керування літаком призначена для змінення траєкторії руху ПС, його балансування і стабілізації на заданих режимах польоту (основна система), а також керування двигунами, шасі, закрилками, гальмівними щитками, повітрязабірниками, реактивними соплами (допоміжна система).

### 3.1. Вплив умов експлуатації на технічний стан систем керування

На СК в процесі експлуатації діють такі групи чинників:

- статичні навантаження розтягування і стиснення від аеродинамічних сил і зусиль на важелях керування;
- динамічні навантаження в польоті в процесі маневрування;
- зусилля тертя;
- вібраційні навантаження від працюючих двигунів і агрегатів;
- атмосферні умови;
- чинники, пов'язані з якістю ТО і експлуатації.

У результаті такого впливу в елементах СК можуть виникати тріщини, корозія, недопустимий знос, вм'ятини, подряпини та ін.

Надійність СК має велике значення в забезпеченні БП, тому СК необхідно піддавати обов'язковому ТО.

### 3.2. Особливості технічного обслуговування елементів жорсткої проводки системи керування

Основні елементи жорсткої проводки: командні важелі, тяги, кермові приводи, кермові агрегати, напрямні ролики, ГВ, кермові поверхні і вузли їх кріплення. У середині всіх з'єднань є підшипники.

Під час догляду за жорсткою проводкою перевіряють:

- чистоту тяг, кронштейнів, роликів. Піл, бруд, волога, мастило збільшують тертя, підвищують знос, сприяють корозії;
- наявність мастила у вузлах. Старе мастило очищають кистю і бензином, наносять нове. На поверхні тяг мастило бути не повинно;
- стан тяг, качалок, шарнірних з'єднань і роликівих напрямних.

- Можливі механічні ушкодження, люфти, ослаблення заклепок;
- цілісність контрування і правильність затягування шарнірних болтів і болтів кріплення;
  - наявність і справність металізації;
  - прогин тяг. Якщо прогин тяги перевищує 2 мм на довжині 1 м, така тяга підлягає заміні (рис. 3.1);
  - знос тяг під роликами (допуски до 0,6 мм). При виході за допуски тяга перший раз повертається на 180°, а другий раз замінюється (рис. 3.2, а);
  - зазори між роликами напрямних і тягами (стандартні допуски 0,1–0,3 мм). Заміряють щупами, притиснувши тягу до двох роликів і вставивши щупи між третім роликом і тягою. Якщо зазор виходить за допуски, то він регулюється двома способами: заміною одного з роликів на ролик іншого діаметра; поворотом одного з роликів навколо ексцентрика на осі (рис. 3.2, б).

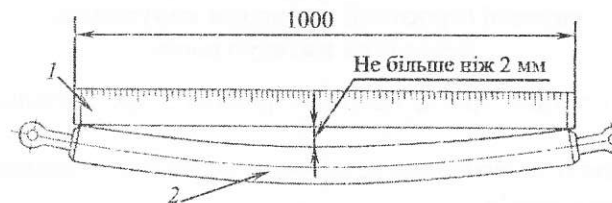


Рис. 3.1. Принцип перевірки прогину тяги:  
1 – лінійка; 2 – тяга

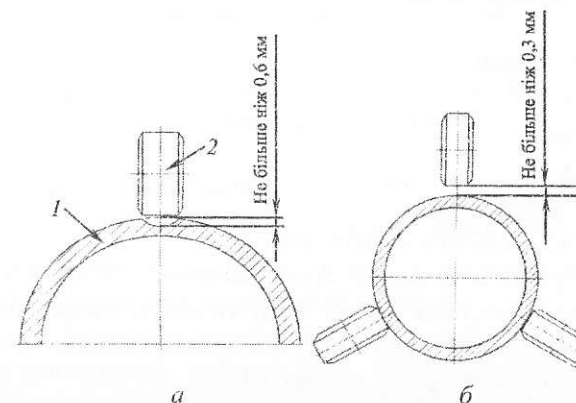


Рис. 3.2. Допустимі зазори:  
а – при зносі тяги; б – між роликом і тягою; 1 – тяга; 2 – ролик

Під час ремонту або заміни тяги необхідно стежити, щоб не виникало резонансних явищ, тобто збігу частоти власних коливань тяг з вимушеними коливаннями.

Частота першого тону коливань тяги:

$$v = \frac{\pi}{2l} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

де  $E$  – модуль пружності;  $I$  – момент інерції;  $EI$  – жорсткість;  $m$  – маса;  $l$  – довжина.

Отже, при заміні тяги або її ремонті потрібно ставити тягу з того самого матеріалу, тієї самої довжини, діаметра і товщини стінки. При зміні зазорів між тягою і напрямними в процесі експлуатації змінюється довжина тяг між опорами, тобто частота їх власних коливань, тому дуже важливо стежити за цими зазорами.

### 3.3. Особливості технічного обслуговування гнучкої (тросової) проводки керування. Перевірка натягу тросів

Основні деталі: троси, напрямні ролики з кронштейнами і ГВ, качалки.

При догляді за тросовою проводкою керування перевіряють:

- чистоту тросів;
- знос тросів.

Характерні дефекти:

- залом;
- нагартування;
- наклеп;
- вм'ятина;
- корозія;
- обрив ниток;
- тертя об елементи конструкції.

При ТО тросової проводки перевіряють:

- наявність мастила (може бути тільки в місцях напрямних і ГВ, в інших місцях наявність мастила недопустима);
- кріплення роликів і їх кронштейнів;
- цілісність металізації і контрування;
- наявність механічних пошкоджень, зносу, викришування роликів, особливо їх реборд;

- натяг тросів (у процесі експлуатації відбувається ослаблення натягу тросів унаслідок зусиль розтягування, різких змін температури з великим діапазоном, тертя в проводці).

Ослаблення натягу тросів може призвести:

- до утворення люфтів, що викликає ударні напруження;
- погіршення керованості внаслідок запізнювання реакції поверхонь керування;
- виникнення вібрацій, що може призвести до виходу з ладу СК.

Тому періодично проводиться перевірка натягу тросів. Коефіцієнти лінійного розтягування  $\alpha_{\text{стали}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  і  $\alpha_{\text{дюрало}} = 21 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Таким чином, при зміні температури довжина фіюзеляжу змінюється майже вдвічі більше, ніж довжина троса, а це означає, що при підвищенні температури натяг тросів збільшується, а при зниженні – зменшується (рис. 3.3).

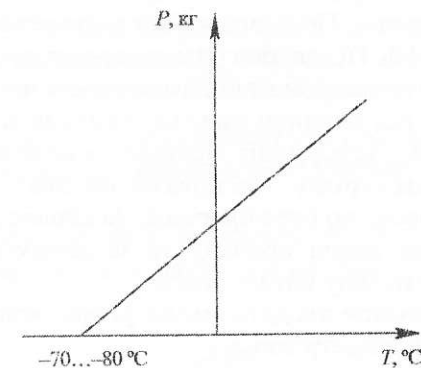


Рис. 3.3. Типовий графік зміни натягу троса залежно від температури

Формула визначення натягу троса для побудови графіка:

$$P = E \cdot F (\alpha_{\text{дюрало}} - \alpha_{\text{стали}}) (t_{\text{факт}} - t_0)$$

де  $P$  – натяг троса;  $t_{\text{факт}}$  – температура, за якої вимірюється натяг;  $t_0$  – температура, за якої натяг дорівнює нулю.

Щоб при будь-якій температурі, яка можлива в експлуатації, трос був натягнутий, роблять так, щоб нульовий натяг був за температури мінус 70 – мінус 80 °C. Графіки натягу для кожного троса є в технічній документації. Натяг перевіряється тензометром (рис. 3.4), у який затискається трос.



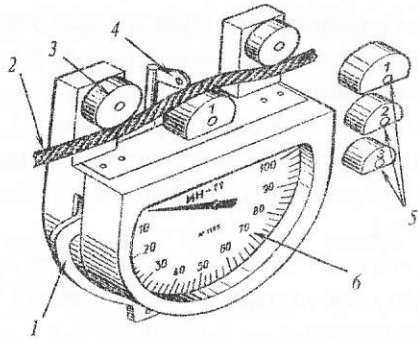


Рис. 3.4. Тензометр для перевірки натягу тросів:

1 – важіль; 2 – трос; 3 – незнімний упор;  
4 – важіль фіксації стрілки; 5 – змінні упори; 6 – шкала

Фактичний натяг порівнюється з тим, який повинен бути при даній температурі за графіком. Принцип роботи тензометра такий.

Натяг тросів у СК ПС та двигунами перевіряють тензометром, у якому використовується принцип вимірювання пружної деформації плоскої пружини під впливом сил, що виникають при прогинанні натягнутого троса. Деформація пружини множувальним механізмом передається на стрілку, яка показує на шкалі з безрозмірними поділами натяг троса, що перевіряється. За кількістю поділів, зазначених стрілкою на шкалі приладу та за допомогою тарувальної таблиці, визначають силу натягу троса.

У комплект приладу входять змінні упори, кожен з яких розрахований на певний діаметр троса.

Перевірений трос закладають між рухомими незнімними упорами та знімним упором. Важіль, укріплений шарнірно, слугує для затискання троса між упорами. Важіль фіксації стрілки приладу призначений для фіксації стрілки перед зняттям із троса. Для фіксації стрілки необхідно повернути важіль від вихідного положення проти годинникової стрілки.

Встановіть на тензометр змінний упор, відведіть важіль від корпусу приладу, надягніть тензометр на трос так, щоб він розташувався між сухариками та знімним упором. Закріпіть прилад на тросі, повернувши важіль до корпусу. Зафіксуйте положення стрілки приладу, повернувши важіль фіксатора на  $90^\circ$  проти годинникової стрілки.

Відведіть важіль від корпусу приладу, зніміть прилад із троса та поверніть важіль у попереднє положення. За шкалою приладу зробіть відлік та запис умовних одиниць, що характеризують натяг

троса. Поверніть важіль фіксації стрілки на  $90^\circ$  за годинниковою стрілкою, поверніть стрілку приладу в нульове положення та здійсніть контрольні вимірювання ще у двох місцях різних ділянок проводки. Визначте середнє значення умовних одиниць величини натягу. За таблицею, що додається до тензометра, визначте величину натягу троса і запишіть її. Натяг тросів в обох гілках проводки має бути однаковим і має відповідати значенням, вказаним у графіку для даної температури зовнішнього повітря.

Якщо різниця виходить за межі допуску, проводиться регулювання натягу троса тандерними (рис. 3.5) з'єднаннями (муфта з різьбою і наконечником).



Рис. 3.5. Тандер для регулювання натягу тросів:

1 – наконечник з лівою різьбою; 2 – муфта; 3 – контровочний дріт;  
4 – наконечник із правою різьбою

Обертаючи муфту важелем, зближують або видаляють наконечники тросів. Наконечник із правою різьбою встановлюється у напрямку польоту.

На деяких типах літаків встановлюються пристосування для автоматичного регулювання натягу тросів (рис. 3.6).

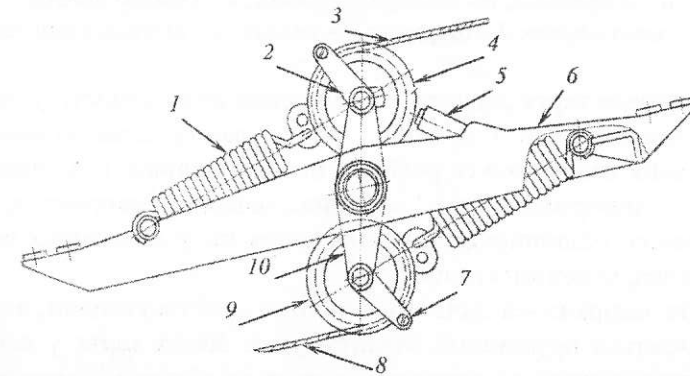


Рис. 3.6. Механізм автоматичного регулювання натягу тросів:

1 – пружина; 2, 7 – обмежувач тросів; 3, 8 – трос; 4, 9 – ролики; 5 – упор;  
6 – корпус; 10 – качалка

### 3.4. Перевірочно-регулювальні роботи в системах керування

Під час перевірки працездатності СК виконують такі роботи:

1. Перевірка і регулювання натягу тросів.
2. Замірювання зусиль тертя в проводці (рис. 3.7). Тертя нормується як по всій проводці, так і по окремих ділянках.

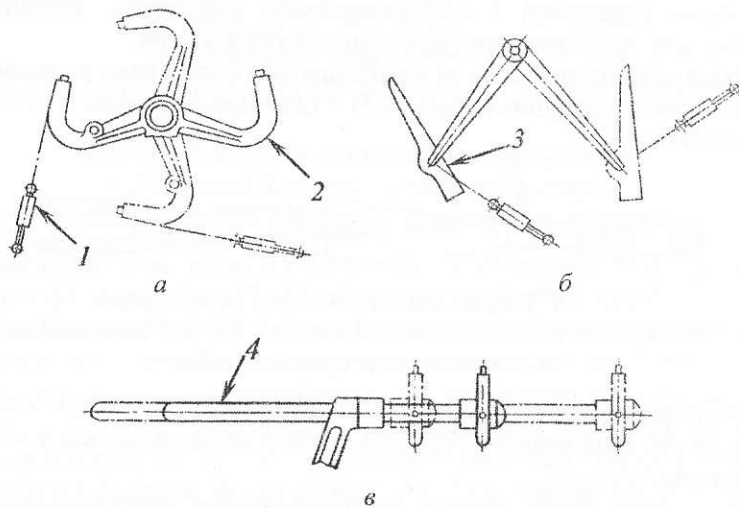


Рис. 3.7. Схема вимірювання зусиль у проводці керування:  
*a* – елеронами; *б* – кермом напрямку; *в* – кермом висоти;  
 1 – динамометр; 2 – штурвал; 3 – педаль; 4 – штурвальний вал

Підвищене тертя свідчить про можливі несправності: у тросах – зіскакування тросів з роликів, зайоржування, пошкодження або руйнування підшипників роликів, перекіс роликів і їх заїдання; в тягах – деформація тяг, заїдання качалок (наприклад, через руйнування підшипників), заклинювання тяг у напрямних роликах (наприклад, через вм'ятини на тязі).

Тертя замірюється динамометричним пристосуванням, водночас відключається пружинний завантажувач. Якщо тертя у всій проводці вище норми, то система ділиться на ділянки і перевіряється тертя на кожній з них.

3. Перевірка плавності переміщення важелів СК. Переміщення має бути вільним, плавним, без люфтів і заїдань.

4. Перевірка і регулювання правильності відхилення і величини кутів відхилення рулів і елеронів та їх відповідність відхиленню колонок, штурвалів, педалей. Перевіряються нейтральне і крайні положення. Кути відхилення замірюються механічними і оптичними кутомірами (рис. 3.8–3.10).

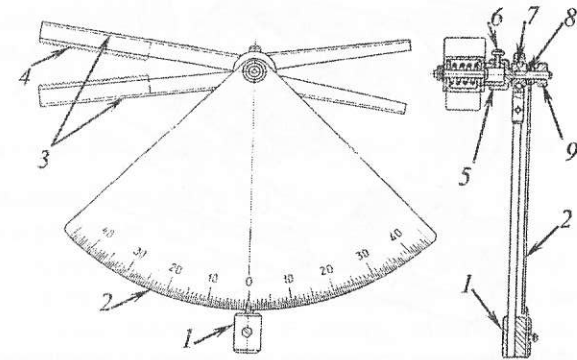


Рис. 3.8. Кутомір для перевірки відхилення елеронів і керма висоти:  
 1 – висок; 2 – шкала; 3 – важільний затискач; 4 – губки; 5 – втулка;  
 6 – гвинт; 7 – шарикопідшипник; 8 – вісь; 9 – гайка

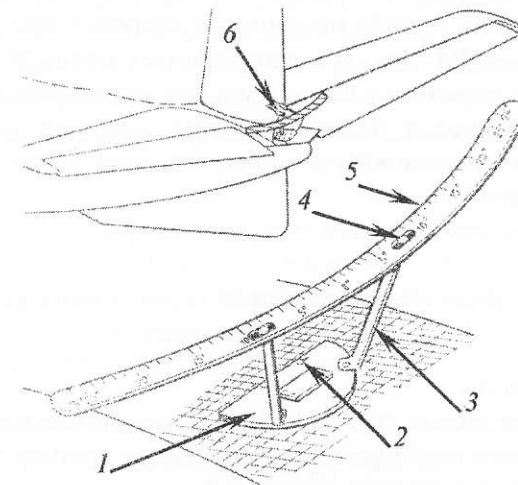


Рис. 3.9. Кутомір для перевірки відхилення керма напрямку:  
 1 – тримач; 2 – гвинт; 3 – кронштейн; 4 – шкала; 5 – паз;  
 6 – стрілка-показчик

5. Перевірка часу повного переключення (з одного крайнього положення в інше) механізмів тримірування керм, елеронів і польотних завантажувачів.

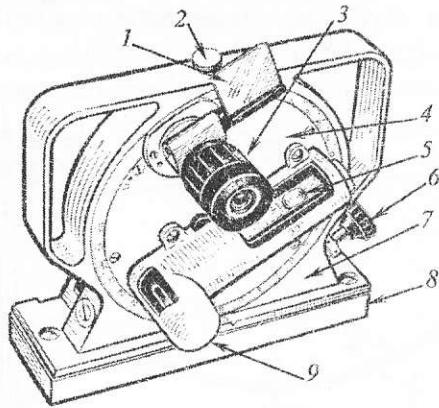


Рис. 3.10. Оптичний квадрант для перевірки відхилення кермових поверхонь: 1 – дзеркало; 2 – затискний гвинт; 3 – мікроскоп; 4 – кришка зі шкалою; 5 – рівень; 6 – навідний гвинт; 7 – корпус; 8 – основа; 9 – рівень

6. Замірювання люфтів по кермах і елеронах при їх нейтральному положенні. Для цього встановлюється спеціальне пристосування поруч з кермами і елеронами, що відхиляються, на якому відмічається зміщення закінцівок керм, елеронів, коли до них динамометром докладено нормоване зусилля згори і знизу. На люфти є нормативи.

7. Перевірка нейтрального положення керм.

### 3.5. Технічне обслуговування герметичних виводів системи керування

Основні роботи:

1. Перевірка зусиль тертя в ГВ за допомогою динамометра. Для цього тяги і троси на ГВ розстикуються. Якщо зусилля тертя більше, то треба знайти несправність і усунути її.

2. Перевірка стану осердя ГВ тросів (з гуми або бязі). Звертають увагу на зношування, набухання, розшарування.

У таких випадках осердя замінюється і заповнюється мастилом.

3. Перевірка дзеркала штока в ГВ. Можливі: бруд, подряпини, вм'ятини. Штоки протираються ганчіркою, змащуються, і перевіряється легкість їх переміщення.

4. Перевірка корпусів кріплення ГВ на шпангоуті: затягування болтів, тріщини, контрування, цілісність ЛФП, корозія.

5. Заміна мастила в корпусах ГВ запресуванням доти, доки в щілинах не з'явиться чисте мастило.

6. Огляд стану прогумованих чохлаів ГВ.

### 3.6. Технічне обслуговування елементів системи керування

До загальних видів робіт з ТО СК належать:

1. Перевірка стану командних важелів (колонок, пультів, педалей, рукояток, штурвалів). Можливі тріщини, корозія, порушення ЛФП, деформація, ослаблення кріплення і порушення контрування.

2. Змащування шарнірних з'єднань, підшипників, штоків циліндрів, редукторів, вузлів трансмісії, карданних вузлів, підйомників. У технічній документації є карти змащення і переліки вузлів і деталей, що підлягають змащуванню, а також періодичність змащування цих деталей. Мастило наноситься на поверхню або подається через маслянки за допомогою шприца або нагнітача доти, доки зі щілин не з'явиться свіже мастило.

3. Перевірка стану кермових агрегатів, кермових приводів (бустерів), пружинних завантажувачів. Перевіряється чистота, справність, чи немає пошкоджень, надійність кріплення і контрування.

4. Перевірка герметичності кермового приводу і рівня мастила в його редукторі по оглядовому склу та зливання або дозаправлення мастила.

5. Перевірка легкості ходу, синхронності переміщення важелів керування двигунами (ВКД) та надійності їх стопоріння.

6. Замірювання величини заходу стопора в гнізда системи стопоріння керм і елеронів.

### 3.7. Технічне обслуговування засобів механізації крила і керованого стабілізатора

Основні роботи:

1. Перевірка стану обшивки, обтічників, кронштейнів, кареток, редукторів, гвинтових підйомників, напрямних, валів трансмісії, карданів, електромеханізмів і вузлів їх кріплення. При цьому

перевіряються: справність, наявність корозії, тріщин, забоїн, потертостей, вироблення в карданних з'єднаннях, надійність кріплення, цілісність контрування, стан ЛФП.

2. Перевірка роботи системи прибирання-випускання закрилків, передкрилків і перестановки стабілізатора в крайні положення. При контрольних випусканні, прибиранні закрилків і перестановці стабілізатора перевіряється час, тиск у ГС, повнота прибирання-випускання, плавність ходу (відсутність ривків), запас ходу (недоходу до крайніх упорів), синхронність відхилення закрилків (несинхронність не повинна перевищувати 1°), справність сигналізації.

3. Перевірка недоходу системи керування до крайніх або нижніх і верхніх упорів. У разі відхилення передкрилків, закрилків і стабілізаторів вони утримуються в потрібному положенні за допомогою гідрогальма (гідромуфти), команда на зупинку якого дається від механізму кінцевих вимикачів. Якщо щось відмовить, то на їхньому шляху ставляться механічні упори. Відстань до упорів (недохід) регламентується. Якщо він довше, ніж передбачалося, то можливий удар, якщо менше – виникає небезпека наштотхнутися на упор раніше, ніж спрацює гальмо.

Тому в експлуатації періодично проводиться перевірка недоходу до упорів. При цьому у випущеному положенні гідрогальмо розгальмовується спеціальним ключем, потім вставляється кермовий ключ у редуктор кермового приводу і шляхом його провертання орган керування доводиться до упору. Мірилом недоходу є число обертів ключа або кут повороту осі редуктора. Регулювання недоходу виконується поворотом кулачків механізму кінцевих вимикачів. У деяких конструкціях недохід до упорів перевіряється щупами.

4. Перевірка зазорів між рейками і роликами візка у вузлах опор закрилків щупами. Зазори змінюються внаслідок зносу. Якщо зазори не в нормі, то виконується заміна ролика на інший діаметр або регулювання шляхом повороту ексцентрика.

5. Перевірка люфтів (качки) закрилків і передкрилків у випущеному положенні. Для цього до задніх кромки у певних точках прикладаються за допомогою динамометра зусилля згори і знизу. Люфт заміряється шляхом фіксації крайніх положень заданих точок на хвостовику закрилка за допомогою спеціального пристосування.

### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Як впливають умови експлуатації на ТС систем керування?
2. У чому полягають особливості ТО елементів жорсткої проводки СК?
3. Опишіть резонансні явища в жорсткій проводці СК.
4. Назвіть роботи при догляді за тросовою проводкою СК.
5. Які причини ослаблення натягу тросів і його наслідки?
6. Зобразіть типовий графік зміни натягу троса залежно від температури і охарактеризуйте його.
7. Який порядок перевірки натягу тросів?
8. Розгляньте перевірно-регулювальні роботи в СК.
9. У чому полягає мета і порядок вимірювання зусиль тертя в проводці керування?
10. Назвіть можливі причини підвищення тертя в жорсткій і гнучкій проводці.
11. Перелічіть основні роботи при ТО герметичних виводів системи керування.
12. Перелічіть основні роботи при ТО інших елементів СК.
13. Перелічіть основні роботи при ТО засобів механізації крила і керованого стабілізатора.
14. Охарактеризуйте мету і порядок перевірки недоходу СК засобами механізації крила і закрилками до упорів.
15. З якою метою проводиться перевірка зазорів між рейками і роликами візка закрилків?
16. Поясніть суть перевірки люфтів у механізмах прибирання-випускання закрилків і передкрилків.

## Розділ 4

### УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ШАСІ

Шасі насамперед призначено для поглинання кінетичної енергії вертикального руху повітряного судна  $A = (m_{\text{пос}} V_y^2)/2$ , де  $m_{\text{пос}}$  – посадкова швидкість польоту;  $V_y$  – вертикальна швидкість. У авіації застосовують шасі ферменого, балкового і фермено-балкового типів. Найчастіше на повітряних суднах використовують шасі фермено-балкового типу.

#### 4.1. Характеристика експлуатаційних чинників, що впливають на технічний стан шасі

Технічний стан конструктивних елементів шасі залежить від багатьох чинників, які можна розбити на кілька груп.

1. Навантаження і перевантаження при русі літака, під час стоянки і приземлення (злітна і посадкова маси, посадкова швидкість, вертикальна швидкість при посадці, кути крену і ковзання тощо). Їх величина і напрямок залежать від якості посадки, характеру руху літака, ступеня нерівності ЗПС і жорсткості амортизації. Під час посадки на нерівну ЗПС, при гальмуванні і приземленні з нерозкрученими колесами на шасі діють горизонтальні сили, спрямовані проти польоту. При посадці зі знесенням, розворотами діють бічні горизонтальні сили.

2. Кліматичні умови: вологість, сніг, вітер, висока і низька температури – викликають корозію, руйнування ЛФП, старіння покриттів, зниження еластичності, примерзання пневматиків до ґрунту і їх пошкодження.

3. Умови навколишнього середовища: пил, бруд, пісок, великі частки, стан ЗПС, рульових доріжок, стоянок. Пил потрапляє в підшипники, гальма, диски, шарнірні з'єднання, внаслідок чого збільшується тертя, підвищується знос. Сторонні предмети викликають вм'ятини, подряпини і порізи покриттів. Нерівності призводять до вигинів, повторно-змінних навантажень, ударів. У результаті – тріщини на стояках, амортизаторах, осях, підкосів тощо. ПММ, луги, кислоти руйнують покриття.

4. Якість льотної експлуатації і ТО: груба посадка, різке гальмування, своєчасність і якість мастила і регулювання.

#### 5. Умови зберігання.

На експлуатаційні характеристики рідинно-азотних амортизаторів за відсутності інших несправностей здебільшого впливають величина початкового тиску азоту, обсяг і властивості рідини, що заправляється, її чистота. Поглинання амортизатором розрахункової кількості енергії під час посадки ПС може бути забезпечено лише у разі заповнення його необхідною кількістю рідини і зарядження азотом до визначеної (розрахункової) величини надлишкового тиску. Відхилення від цих норм можуть призвести до погіршення роботи амортизатора, виникнення залишкових деформацій і навіть до руйнування як окремих силових вузлів, так і конструктивних елементів планера чи шасі ПС під час посадки. На рис. 4.1 показано діаграму роботи рідинно-азотного амортизатора.

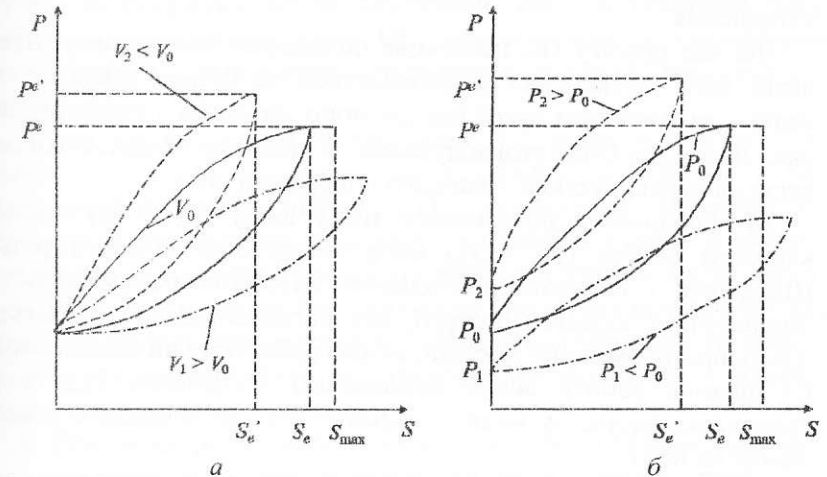


Рис. 4.1. Діаграми роботи рідинно-азотного амортизатора:  $P$  – тиск;  $S$  – хід штока (а); при відхиленнях від ТУ (б) по заправленню рідиною і зарядженню стиснутим азотом

При недостатньому початковому тиску стиснутого азоту ( $P_1 < P_0$ ) і нормальному заправленню рідиною амортизація буде м'якою. Величина обтиснення амортизатора при цьому збільшується.

Однак, у випадку грубої посадки ПС, коли амортизатор при повному обтисненні, тобто при ході штока, що дорівнює експлуатаційному, повинен поглинути енергію більше розрахункової, він не сприймає всієї енергії удару.

Наприкінці ходу штока амортизатора енергія, що залишилася, сприймається жорстко, що викликає різке збільшення навантажень, які діють на силові елементи шасі і навіть планера літака (особливо при багаторазових впливах таких навантажень).

Аналогічна робота амортизатора буде у випадку, коли кількість рідини в ньому менше потрібної ( $V_2 < V_0$ ). При цьому об'єм азоту в амортизаторі більше норми. У даному випадку в середині амортизатора можливе явище на кшталт гідравлічного удару. Водночас деформацію чи навіть руйнування можуть одержати деталі вузла гальмування, що, зрештою, призведе до пошкодження амортизатора.

Недостатній об'єм рідини чи малий початковий тиск азоту в амортизаторі виявляються під час нормальної посадки ПС за зменшенням «жорсткості» амортизатора і збільшенням його обтиснення.

Під час пробігу ПС початкове положення такого амортизатора після його обтиснення відновлюється за більш тривалий час. Відтак, за наявності такої несправності на одній з головних опор шасі може з'явитися розгойдування ПС навколо поздовжньої осі, а якщо на передній опорі – навколо поперечної осі.

За збільшеного початкового тиску азоту ( $P_2 > P_0$ ) і великої кількості рідини ( $V_1 > V_0$ ) амортизатор стає більш жорстким. Швидкість і величина обтиснення амортизатора зменшуються. Зменшується кількість енергії, що поглинається амортизатором, навіть при нормальній посадці, а при грубій посадці (коли потрібно поглинання роботи більш нормованої) обтиснення буде менше експлуатаційного, зусилля – більше. Усе це збільшить навантаження на шасі.

На роботу амортизаторів в експлуатації впливає також в'язкість рідини. При підвищенні температури в'язкість рідини знижується, що зменшує опір рідини в гальмівному вузлі. Амортизатор стає більш м'яким, зменшується його енергоємність, погіршується робота ущільнень.

Застосування рідинних амортизаторів, що працюють в умовах дуже високих тисків (до 300–500 МПа), потребує особливого контролю за герметичністю ущільнень.

У процесі тривалої експлуатації може відбуватися витікання азоту через зарядний штуцер і ущільнення та рідини через ущільнення між циліндром і штоком, що сприяє появі описаних

підвищених навантажень, які можуть стати причиною передчасного зношування, появи залишкових деформацій чи тріщин, навіть руйнування деталей шасі і планера.

При ТО амортизаторів проводяться такі роботи:

1. Дефектація.
2. Усунення відмов і ушкоджень.
3. Перевірка тиску азоту в амортизаторі.

Цей контроль (за наявності впевненості в правильності заправлення рідиною й відсутності витікання рідини) здійснюється візуально по обтисненню амортизатора залежно від маси літака. Обтиснення амортизатора визначається вимірюванням видимої частини дзеркала штока чи контролем ходу штока амортизатора за покажчиком обтиснення. Знаючи величину обтиснення амортизатора, за графіками чи за таблицями, що є в технічній документації з конкретного типу ПС, перевіряється (з урахуванням маси літака і температури зовнішнього повітря) тиск азоту в амортизаторі.

4. Під час виконання певних форм ТО, а також при невідповідності обтиснення амортизатора технічним умовам, чи в разі виявлення витікання рідини з-під ущільнення амортизатора, перевіряють початковий тиск азоту і кількість рідини в амортизаторі. Для цього літак піднімають на гідропідйомниках на висоту відриву коліс від бетону (амортизатори при цьому розтискуються). Використовуючи пристосування, заміряють початковий тиск азоту і, якщо він великий, його стравлюють, а якщо малий – дозаряджають до початкового значення.

5. При перевірці кількості рідини спочатку з цілком розтиснутого амортизатора (літак піднятий на підйомниках) стравлюють тиск азоту до нуля, потім вивертають зарядний штуцер, амортизаційний стояк обтиснюють (гідродомкратом чи опусканням літака на гідропідйомниках) і через отвір для зарядного штуцера в амортизатор шприцом заливають рідину (АМГ-10, НГЖ-4). У більшості амортизаторів рідина заливається до рівня отвору при цілком обтиснутому амортизаційному стояку. Потім літак знову піднімають на гідропідйомниках (чи опускають гідродомкрат, яким обтиснювався амортизаційний стояк), закручують зарядний штуцер, і амортизатор заряджають азотом до початкового тиску. Зарядження здійснюється від стандартних аеродромних балонів чи

від повітрязаправника з використанням спеціального пристосування. Під час заряджання амортизаторів азотом недопустиме застосування аеродромних балонів з іншими газами (особливо з киснем).

Перевіряти об'єм рідини і початковий тиск азоту в амортизаторах необхідно також за наявності зауважень екіпажу щодо їхньої роботи (наприклад, поздовжнє чи поперечне розгойдування літака під час посадки).

При перевірці кількості рідини в двокамерному амортизаторі з цілком розтиснутого амортизатора стравлюють тиск азоту спочатку з верхньої камери, потім – з нижньої. Далі заправляють нижню камеру амортизатора рідиною по нижній обріз мастилоскидальної трубки та заряджають її початковим тиском азоту. Опустивши літак на гідропідйомниках до повного обтиснення амортизаторів, у верхню камеру заправляють рідину до рівня отвору під зарядний клапан, літак піднімають на підйомниках, закручують в отвір зарядний штуцер, після чого верхню камеру амортизатора заряджають азотом і літак опускають.

6. Під час виконання ТО шасі дзеркала штоків циліндрів, орієнтирів і амортизаторів змащують консистентним мастилом ЦИАТИМ-201, яке наносять на поверхню чистою серветкою. Якщо на поверхнях штоків (дзеркал) амортизаційних стояків виявлені подряпини, то необхідно чистою серветкою очистити поверхню штоків від бруду і пилу, а у випадку забруднення обтюраторів нижніх букс їх необхідно замінити.

Зміна тиску азоту в стабілізуючому амортизаторі (чи демпфері візка) порушує кінематику закидання візка під час прибирання шасі, що може бути причиною не повного закидання візка чи інших дефектів шасі. Тиск азоту в стабілізуючому амортизаторі перевіряють, використовуючи спеціальне пристосування з манометром як на не піднятому, так і на піднятому на підйомниках літаку.

#### 4.2. Технічне обслуговування пневматиків

Крім перелічених у попередньому розділі чинників на ТС працездатність і витривалість пневматика впливають:

1. Абсолютний тиск повітря в пневматику. Якщо він вище норми, то зменшуються амортизаційні властивості і, як наслідок, виникають ударні навантаження в момент посадки і пересування

по нерівностях. Це призводить до втоми, підвищеного зносу, розриву камери. Якщо тиск нижче норми, то зминаються борта покришки, у яких виникають тріщини, відбувається прокручування пневматика щодо барабана колеса, що особливо важливо для камерних пневматиків з ніпельною зарядною трубкою.

2. Різниця тисків у пневматиках коліс візка. Допускається різниця тисків не більше ніж 0,025 МПа. Якщо різниця більше, то виникає тенденція до розвороту візка через момент навколо вертикальної осі, що може призвести до явища «шіммі» або додаткових навантажень на стояк і візок шасі.

Типові несправності і пошкодження:

- підвищений знос: існує допуск на глибину контрольних лунок, а якщо їх немає – до другого шару корду;

- механічні проколи і порізи: допуски до другого–третього шару корду;

- розшарування тканини біля бортів покришки і їх здуття, розрив каркаса;

- прокручування покришки щодо барабана колеса і змінання зарядного вентиля;

- негерметичність камери в місцях проколів;

- змінання фланців зарядного вентиля, негерметичність клапана зарядного вентиля.

*Основні роботи при ТО:*

- дефектація;

- перевірка повертання пневматика стосовно корпусу щодо зміщення червоної мітки, нанесеної на пневматик і барабан колеса;

- перевірка тиску заряджання пневматика (за манометром або побічно по обтисненню). Обтиснення – різниця розмірів горизонтального і вертикального діаметрів. При цьому враховують масу літака і температуру зовнішнього повітря (рис. 4.2);

- демонтаж-монтаж пневматика. При знятому колесі проводиться на спеціальних ділянках за допомогою механічного пристосування. В умовах стоянки – за допомогою спеціального знімача (рис. 4.3);

- демонтаж-монтаж коліс з їх очищенням, продуванням, перевіркою. Проводиться при переході на осінньо-зимову і весняно-літню навігацію.

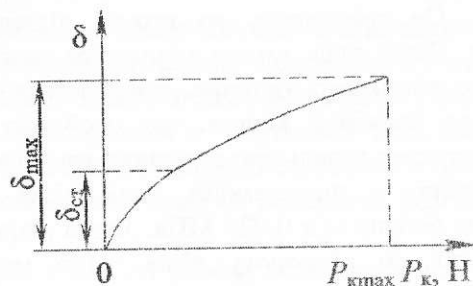


Рис. 4.2. Залежність обтискання пневматика від маси літака

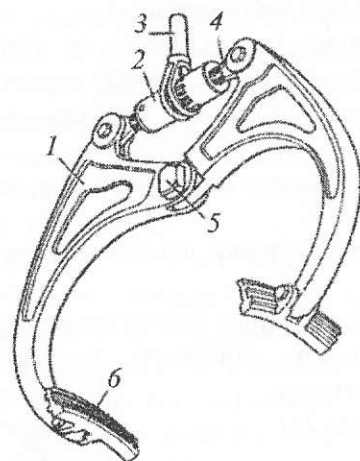


Рис. 4.3. Пристосування для зняття шин коліс:  
1 – важіль; 2 – тандер; 3 – рукоятка;  
4 – вушкоподібний болт; 5 – болт; 6 – башмак

#### 4.3. Технічне обслуговування амортизаторів шасі

Амортизатори шасі слугують для поглинання і розсіювання кінетичної енергії вертикальної складової швидкості літака під час посадки і руху по аеродрому.

У сучасних літаках амортизатори, як правило, рідинно-газові одно- або двокамерні (рис. 4.4). На їх експлуатаційні характеристики і працездатність впливають:

- початковий тиск газу (азоту);
- об'єм і властивості рідини, що заправляється;
- чистота робочої рідини.

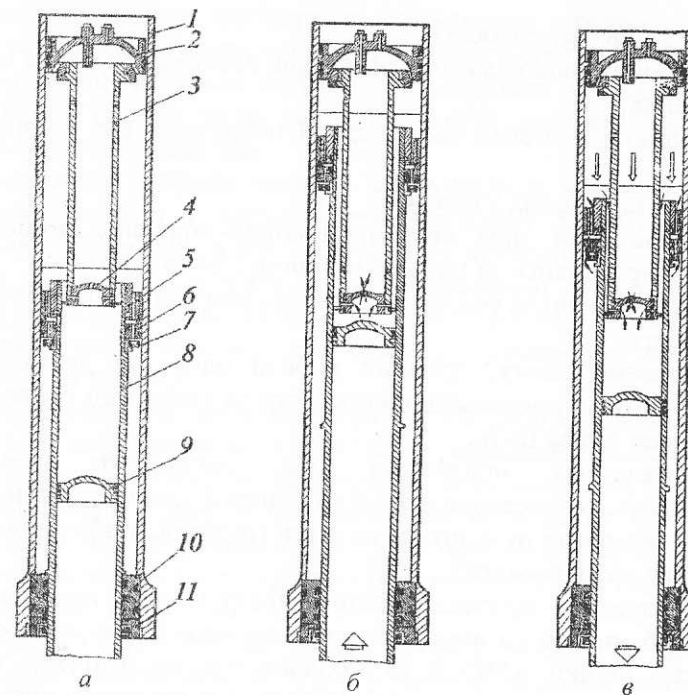


Рис. 4.4. Амортизатор однокамерний, рідинно-газовий з гальмуванням мастила на прямому і зворотному ході штока (основний стояк):  
а – амортизатор не обтиснутий; б – прямий хід штока; в – зворотний хід штока; 1 – циліндр; 2 – верхнє денце із заливною горловиною та зарядним штуцером; 3 – труба дифузора; 4 – дифузор; 5, 6, 10 – букси; 7 – клапан; 8 – шток амортизатора; 9 – денце; 11 – сальник

Для поглинання розрахункової кількості енергії амортизатор повинен бути заряджений потрібним об'ємом рідини і стисненого газу. Недостатній тиск азоту або мала кількість рідини призводить до того, що при посадці робота амортизатора буде надмірно м'якою. Тому для поглинання необхідної кінетичної енергії хід амортизатора буде більше експлуатаційного, що під час грубої посадки може призвести до жорсткого удару штока об обмежувач. Якщо ж при посадці спостерігається надмірний тиск азоту або зайва кількість рідини, то амортизація буде жорсткою, тобто хід менше, а навантаження більше експлуатаційних, що призведе до залишкових деформацій, підвищеного зносу або навіть руйнування.



Характерні несправності:

- механічні пошкодження від ударів великих предметів під час пересування;
- тріщини в місцях концентрації напружень від ударних навантажень;
- знос шарнірних з'єднань;
- підвищений знос системи циліндр-поршень, особливо в буксі, що призводить до витікання рідини з амортизатора;
- негерметичність ущільнень і клапана зарядного штуцера азотом;
- корозія.

Розглянемо схему, принцип роботи одно- та двокамерного рідинно-газових амортизаторів носового та головного стояків шасі на прикладі літака Іл-76.

Амортизатори призначені для поглинання зовнішніх навантажень, розсіювання кінетичної енергії ударів, що виникають під час посадки та руху літака по землі (руління, розбігу при зльоті та пробігу після посадки).

Амортизатор – це герметичний циліндр, у якому переміщується шток. Робочий об'єм амортизатора заповнений суворо дозованою кількістю рідини АМГ-10 та технічно чистим азотом з певним початковим тиском. Азот застосований для усунення можливості самозаймання та вибуху рідини під час роботи амортизатора, тому замінювати азот повітрям недопустимо.

*Робота амортизатора. Повністю випущене положення.*

За відсутності зовнішніх сил шток амортизатора повністю висунутий і буртом упирається в нижню буксу. Внутрішній робочий об'єм амортизатора ділиться дифузоров та верхньою буксою на дві частини: верхню та нижню.

Верхня частина об'єму здебільшого заповнена стисненим азотом та частково рідиною АМГ-10.

Для правильної роботи амортизатора рідина має перекривати дифузор. Нижню частину об'єму заповнено рідиною АМГ-10. Обидві частини внутрішнього робочого об'єму амортизатора конструктивно поділено на дві порожнини кожна.

У верхній частині – це порожнина всередині труби дифузора та порожнина між внутрішньою поверхнею циліндра та зовнішньою поверхнею труби дифузора.

У нижній частині – це порожнина всередині штока, обмежена згори дифузоров, а знизу денцем штока, і порожнина між внут-

рішньою поверхнею циліндра та зовнішньою поверхнею штока, згори та знизу обмежена буксами (так звана зворотна камера).

Порожнини верхньої частини сполучаються між собою через верхній та нижній ряди отворів у трубі дифузора та отвори верхнього денця циліндра.

Порожнини нижньої частини сполучаються між собою через поздовжні отвори у верхній буксі, кільцеву щілину між зовнішньою поверхнею труби дифузора та внутрішньою поверхнею штока, нижній ряд отворів труби та радіальні отвори дифузора (тобто через порожнину верхньої частини), а також через поздовжні та радіальні отвори верхньої букси та розташовані на їхньому рівні отвори в штоку.

Для нормальної роботи амортизатора велике значення має правильне заправлення його рідиною та заряджання азотом. Початковий об'єм азоту визначається певним рівнем заливання рідини.

Якщо рівень рідини буде нижчим від необхідного (початковий об'єм азоту більше розрахункового), то при посадці літака амортизатор, обравши весь хід, може не поглинути роботу зовнішніх сил.

Унаслідок жорсткого удару об землю літак отримає недопустимо великі навантаження. Якщо рівень рідини буде вищим за необхідний (початковий об'єм азоту менший за розрахунковий), то амортизатор буде надмірно жорстким, що також призведе до збільшення перевантажень на конструкцію літака.

*Прямий хід.*

Під дією зовнішнього навантаження шток амортизатора входить у циліндр. При цьому рідина з порожнини штока, що перебуває під дифузоров, проштовхується через центральний отвір дифузора і кільцеву щілину між трубою дифузора і стінкою штока у верхні порожнини, а через поздовжні отвори верхньої букси, віддаючи клапан до фланця розпірного кільця, перетікає знов у камеру.

Рівень рідини у верхньому об'ємі підвищується, а тиск азоту збільшується. Таким чином, енергія зовнішніх сил при прямому ході штока амортизатора стискає азот і частково витрачається на нагрівання рідини при її перетіканні з порожнини штока, що перебуває під дифузоров, у верхні порожнини і зворотну камеру.

Нааявність невеликої конусності в нижній частині труби дифузора збільшує прохідний переріз кільцевої щілини при малих обтисненнях амортизатора і, зменшуючи ефект гальмування штока, робить роботу амортизатора на початку прямого ходу «м'якшою».

### Зворотний хід.

У разі зменшення зовнішнього навантаження стиснутий при прямому ході азот починає видавлювати шток амортизатора.

Рідина з верхніх порожнин і зворотної камери через центральний отвір дифузора і кільцеву щілину виштовхується в порожнину штока під дифузором. При цьому акумульована в стиснутому азоті енергія зовнішніх сил переходить у тепло, нагріваючи амортизаційну рідину. Найбільший ефект гальмування рідини при зворотному ході штока досягається в клапані, який тиском рідини, що перебуває в зворотній камері, притискається до торця притертої верхньої букси і перекриває всі отвори в ній.

Рідина зі зворотної камери в поздовжні отвори верхньої букси виштовхується лише через чотири отвори клапана. Так забезпечується робота амортизатора на зворотному ході.

### Робота.

В амортизаторі є три камери.

Камера I заряджена азотом за невеликого тиску.

Камера II заряджена азотом з великим тиском.

Камера III заповнена рідиною.

При статичному обтисненні під час руху поршня амортизатора рідина з камери III крізь центральний отвір, кільцеву щілину та прорізи у «плаваючій» трубі дифузора витісняється в камеру I, де відбувається стиснення та підвищення тиску азоту (рис. 4.5).

Процес триває доти, доки тиск у камері не підвищиться до величини тиску зарядження в камері II. Надалі починається рух труби дифузора та процес стиснення відбувається одночасно в камерах I та II.

При динамічному обтисненні амортизатора (наприклад, під час посадки літака або переїзду через купину) унаслідок опору перетіканню рідини почне швидко підвищуватись тиск у камері III.

Цей тиск не може бути великим, тому що при досягненні величини тиску, дещо більшої порівняно з величиною початкового тиску зарядження камери II, почне рухатися труба дифузора, забезпечуючи більш плавне зростання навантажень на амортизаторі.

При *прямому ході* штока амортизатора через більшу кількість отворів у буксі рідина вільно заповнює камеру гальмування зворотного ходу (між циліндром і поршнем).

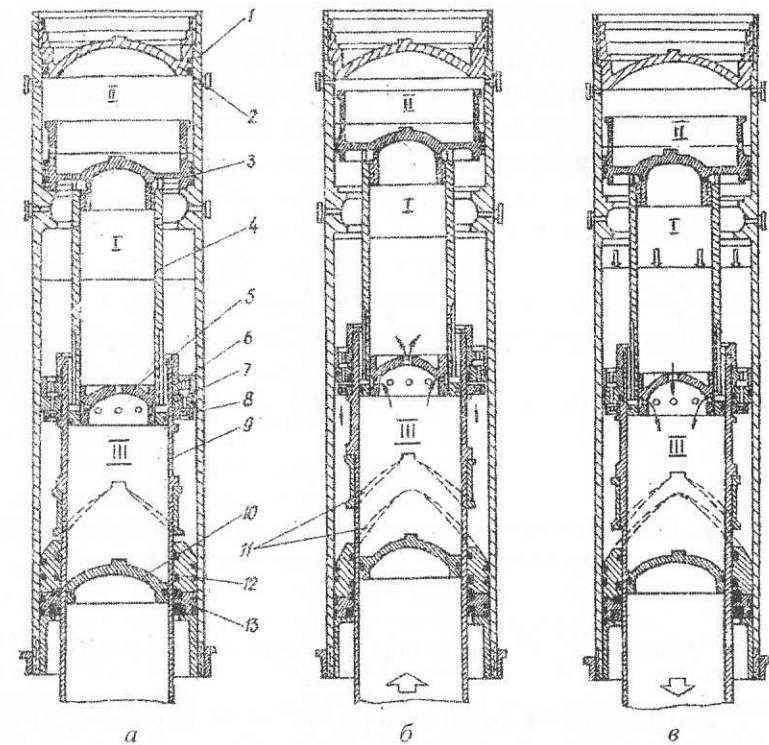


Рис. 4.5. Амортизатор двокамерний із «плаваючою» трубою дифузора, рідинно-газового типу, з гальмуванням мастила на прямому і зворотному ході: а – амортизатор не обтиснутий; б – прямий хід штока; в – зворотний хід штока; 1 – циліндр; 2 – верхнє денце; 3 – плаваючий поршень; 4 – труба дифузора; 5 – дифузор; 6, 7, 13 – букси; 8 – клапан; 9 – шток амортизатора; 10 – денце; 11 – сферичні кулачки; 12 – сальник

При *зворотному ході* штока амортизатора клапан зачиняє отвори в буксі. Невелика кількість отворів, що є в клапані, створює значний опір перетіканню рідини з камери зворотного ходу в камеру I, відтак досягається гальмування поршня при зворотному ході.

### Основні роботи при ТО.

1. Дефектація.

2. Перевірка правильності заряджання (тиску) азотом: побічно - по обтисненню амортизаційного стояка (видимої висоти дзеркала штока або за вказівником обтискання), а також пряма – з використанням

спеціального пристосування (рис. 4.6) з манометром, яке приєднується до зарядного штуцера (у цьому випадку літак встановлюється на підйомники – обтиснення амортизатора має дорівнювати нулю). При непрямому визначенні тиску необхідно враховувати масу літака і температуру зовнішнього повітря.

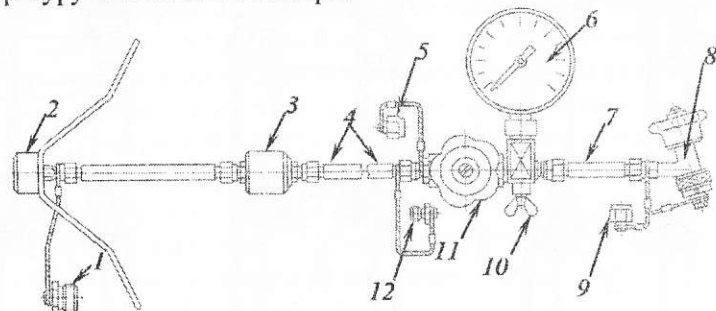


Рис. 4.6. Пристосування для заряджання амортизаційних стояків і гідроаккумуляторів: 1, 5, 9, 12 – заглушки; 2 – наконечник; 3 – фільтр; 4 – шланг; 6 – манометр; 7 – пристосування для заряджання гідроаккумуляторів і амортизаційних стояків шасі; 8 – наконечник; 10 – кран; 11 – запірний кран

3. Дозаправлення амортизатора азотом на піднятому літаку від балона зі стисненим азотом або спецмашини.

4. Перевірка кількості рідини і її дозаправлення.

*Порядок перевірки і дозаправлення:*

- підготувати літак до підняття;
- вивісити (підняти) літак на гідропідйомниках;
- стравити тиск азоту;
- залити рідину через зарядний штуцер до витікання її через отвір зарядного штуцера;
- опустити літак;
- дати відстоятися рідині, при цьому надлишок видалиться через зарядний штуцер; якщо цього не відбулося, треба дозаправити доти, доки рідина не пол'ється;
- підняти літак на підйомники;
- зарядити азотом з балона до потрібного тиску.

Особливістю дозаправлення двокамерних амортизаторів є те, що спочатку заряджається нижня камера, а потім верхня.

#### 4.4. Умови експлуатації та технічне обслуговування конструктивних елементів силової схеми шасі

Залежно від конструктивних особливостей у силову схему входять: стояки, підкоси, циліндри-підйомники, тяги та ін. Хоча переважно ці елементи виготовлені з високолегованої сталі, але під впливом ударних навантажень можлива поява залишкових деформацій і тріщин, особливо в місцях концентрації напружень (зварні шви, переходи товщини тощо). Тріщини на силових елементах не допускаються, тому ці місця перевіряють або візуально за допомогою оптики, або методами неруйнівного контролю (струмовихровий, магнітний, метод фарб).

У шасі наявні кілька десятків шарнірних з'єднань, умови роботи яких специфічні:

- сприймають великі ударні навантаження;
- мають малі швидкості ковзання;
- переміщуються на невеликий кут.

Крім того, в літаках вони, як правило, негерметичні. Для змащування застосовують консистентні мастила, які при тривалій експлуатації від високих навантажень, пилу, вологи, кисню повітря забруднюються, окиснюються. Тому мастило доводиться періодично замінювати. Мастило вводиться через маслянки під високим тиском (15–20 МПа) мастилонагнітачами, що мають гідравлічні, механічні, електричні або пневматичні приводи. Мастило вводиться доти, доки з щілин не з'явиться замість забрудненого темно-коричневого нове світло-жовте мастило.

У сучасних літаках шарнірні з'єднання герметичні і заміна мастила проводиться тільки під час капітальних ремонтів.

Унаслідок зношування шарнірних з'єднань утворюються зазори і з'являються недопустимі люфти, які викликають ударні навантаження при посадці, а в передньому стаяку можуть призвести до явища «шіммі». Тому періодично потрібно перевіряти люфти і усувати їх. Для перевірки літак або окремий стояк встановлюється на гідропідйомники або домкрати. До шасі в певних місцях за допомогою важеля прикладають зусилля в різних, зазначених у технічній документації, напрямках і заміряють сумарну величину люфтів щодо зміщення будь-якої заданої точки. На люфти існують допуски. Люфти усувають шляхом заміни шайб, втулок, куль у шарнірних з'єднаннях.

Стабілізувальний амортизатор (демпфер візка), що стоїть між амортизатором і візком шасі, виконує такі функції:

- встановлює візки шасі при посадці в горизонтальне положення в момент торкання ЗПС;
- є жорсткою тягою, забезпечуючи повне прибирання-випускання шасі;
- слугує амортизатором при пересуванні по ЗПС і рульових доріжках.

Якщо тиск азоту в ньому менше норми, наприклад, унаслідок витікання через ущільнення або зарядний клапан, ці функції порушуються (скажімо, відбувається неповне прибирання шасі), тому тиск перевіряється і за необхідності виконується дозаправлення. Перевірку тиску виконують манометром у вивішеному стані і під час стоянки (з урахуванням температури повітря, а в іншому випадку – і маси літака).

Дозаправлення здійснюють від заправника азотом або від балона.

#### 4.5. Перевірка кінематики системи прибирання-випускання шасі

Однією з основних робіт з перевірки працездатності шасі є перевірка працездатності кінематики та системи прибирання-випускання. Перевірка проводиться відповідно до програми ТО при заміні окремих агрегатів або конструктивних елементів, під час регульовальних робіт, при перевірці системи сигналізації. Роботи виконують на вивішеному літаку.

*Підготовчі роботи:*

- підготовка робочого місця (усунення зайвого обладнання та сторонніх осіб зі стоянки);
- підімкнення джерел електричного живлення до борту;
- створення тиску в ГС від наземної установки або бортової насосної станції (НС);
- підготовка гідравлічних підйомників;
- встановлення зв'язку між обслуговуючим персоналом у кабіні ПС і та персоналом на «землі»;
- підймання літака (вивішування);
- прибирання-випускання шасі за командами із «землі».

Водночас контролюються:

- а) у кабіні:

- час прибирання-випускання;
  - номінальний тиск у ГС;
  - ступінь падіння тиску;
  - синхронність;
  - справність сигналізації;
  - плавність ходу (без поштовхів, ривків, заїдань, шуму);
- б) на «землі»:
- час прибирання-випускання;
  - синхронність;
  - плавність ходу;
  - повнота прибирання-випускання (встановлення на замки);
  - спрацьовування блокування;
  - щільність зачинення стулочок.

Крім того, на «землі» додатково перевіряється за спеціальною технологією справність замків прибраного і випущеного положення шасі і стулочок.

#### 4.6. Технічне обслуговування гальмівних пристроїв коліс шасі

Гальмівні пристрої авіаційних коліс слугують для перетворення кінетичної енергії рухомого літака під час пробігу, руління і випробування двигунів у теплову, унаслідок тертя деталей гальма. У сучасних літаках гальмівні пристрої поглинають кінетичну енергію до 20–30 МДж; потужність гальмівних пристроїв досягає 10–12 тис. кВт; упродовж одного гальмування виділяється 15 000–25 000 Ккал тепла; температура в зоні тертя (в місцях контакту дисків) досягає 1000–1100 °С, а об'ємна температура – 400–600 °С, при аварійному гальмуванні – 700–800 °С.

Використовувані матеріали для літаків «старіючого» парку – легований чавун (диски, що не обертаються) і металокераміка (оберткові диски). Для сучасних літаків застосовують берилієві диски і диски з монокристалів вуглецю. Вони мають меншу масу і об'єм, сприймають більш високу температуру, мають більш високу зносостійкість, а отже, і ресурс.

У процесі роботи гальмівних пристроїв виникають такі явища:

- термічна втома від циклічних теплових навантажень;
- структурні і хіміко-дифузійні перетворення з окисненням матеріалу.

У результаті відбувається інтенсивний знос дисків, виникають мікротріщини, які є концентраторами напружень і поступово перетворюються на великі тріщини. Нерівномірність температур призводить до викривлення, усадки, нерівномірного зношування.

Основні несправності дискових гальм:

- тріщини дисків (секторів);
- викривлення дисків (секторів);
- нерівномірний знос;
- неповне прилягання дисків (секторів);
- схоплювання фрикційних матеріалів;
- втрата герметичності гальмівних циліндрів;
- руйнування вузлів розгальмування.

*Не допускаються:*

- розкриті тріщини по всій ширині і товщині диска (сектора);
- викришування, тріщини в торцевій частині дисків;
- змінання шліцдисків;
- викришування дисків по площі, що перевищує допустиму.

*Допускаються:*

- будь-яка кількість дрібних тріщин;
- неглибокі кільцеві задирання;
- знос дисків у межах допуску;
- викривлення дисків, якщо при ручному розкручуванні колеса воно не пригальмує.

*Основні роботи при ТО:*

- перевірка сумарного зносу дисків за вказівниками;
- перевірка цілісності деталей і агрегатів;
- перевірка надійності кріплення;
- перевірка герметичності ГС гальмування;
- зняття і розбирання колеса, дефектація гальмівних дисків, їх очищення, продування та збирання;
- перевірка стану гальмівних дисків на знятому колесі, але без розбирання гальма;
- перевірка працездатності системи гальмування, стоянкового гальма та аварійного гальмування шасі.

#### 4.7. Технічне обслуговування корпусів коліс, їх осей і підшипників.

##### Правила заміни коліс

*Причина несправності або руйнування деталей коліс:*

- умови експлуатації (груба посадка, посадка зі знесенням, інтенсивне гальмування);
- якість матеріалу;
- недоліки технології виготовлення деталей;
- якість ТО (застосування некондиційного мастила, порушення правил монтажу коліс).

*Типові відмови і несправності деталей коліс:*

- залишкові деформації і тріщини корпусу, знімної і незнімної реборд;
- тріщини, забоїни, сліди перегрівання (мінливості) на осях, маточинах, барабанах, підшипниках;
- викришування і підвищений знос підшипників.

*Основні роботи при ТО:*

- дефектація деталей коліс;
- заміна окремих елементів;
- демонтаж-монтаж коліс.

Колеса встановлюють із двома підшипниками і закріплюють гайкою на осі. Працездатність підшипників значною мірою залежить від правильності їх монтажу. При надмірному затягуванні відбуваються заклинювання підшипника і перегрівання колеса. При слабкому затягуванні виникає підвищений люфт, що призводить до високої ударної навантаженості, і колесо пошкоджується. Щоб цього уникнути, затягування регламентується, для чого встановлюється регульована по довжині розпірна втулка, що забезпечує необхідний експлуатаційний зазор. На рис. 4.7 наведено приклад гальмівного колеса літака Ан-140.

Довжина розпірної втулки повинна бути:

$$L_{\text{вт}} = L_{\text{підш}} + \Delta l,$$

де  $L_{\text{підш}}$  – відстань між обоймами підшипників;  $\Delta l$  – експлуатаційний зазор (0,1–0,4 мм).

Гайку кріплення колеса можна затягувати ключем повністю, і затягування не буде надмірним (колесо обертається вільно) або слабким (відсутній люфт).

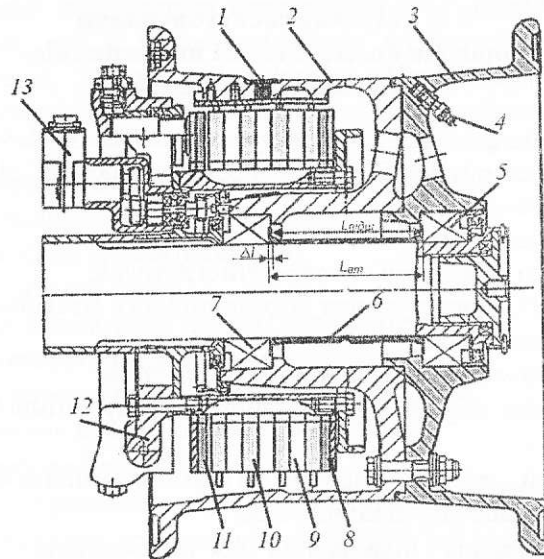


Рис. 4.7. Конструкція дискового гальма:

1 – пробка легкоплавка; 2, 3 – боковина; 4 – корпус зарядного вентиля; 5, 7 – підшипники; 6 – втулка розпірна; 8, 11 – диск натискний опорний; 9 – диск, що не обертається; 10 – диск, що обертається; 12 – блок циліндрів; 13 – датчик частоти обертання

У деяких конструкціях такої розпірної втулки немає. Тоді гайку спочатку затягують туго, а потім відкручують на 1/8 обороту. Порожнини підшипника змащують мастилом. При заміні колеса потрібно дотримуватися комплектиності (ставити ті самі деталі).

#### 4.8. Експлуатаційні причини явища типу «шіммі» і способи їх усунення

Коливання переднього стояка шасі під час розбігу і пробігу літака навколо вертикальної осі, зумовлені переміщеннями вигину і крутіння пневматика, називаються «шіммі». Ці переміщення залежать від швидкості руху літака, і при деякій швидкості настає резонанс, тобто збіг частоти власних коливань стояка з частотою вимушених коливань.

У результаті переміщення стрімко зростають, що призводить до підвищення навантажень і руйнування конструкції.

Конструктивні заходи щодо попередження явища «шіммі»:

1. Підвищення жорсткості встановленням спарених коліс.
2. Підвищення швидкості  $V_{ш}$  шляхом винесення коліс за межі вертикальної осі шасі.

3. Установлення спеціальних гідравлічних циліндрів-демпферів, принцип дії яких заснований на ефекті проштовхування рідини крізь калібровані отвори. Вони ж одночасно є циліндрами повороту передніх коліс.

Однак в експлуатації трапляється явище «шіммі», причини якого такі:

- втрата внутрішньої або зовнішньої герметичності циліндрів-демпферів;
- наявність у них повітряних пробок;
- руйнування або деформування штоків, поршнів і деталей циліндра-демпфера;
- підвищені люфти в з'єднаннях циліндра-демпфера;
- підвищені люфти розміщення колеса на осі;
- знижений тиск у пневматиках;
- велика різниця тисків у пневматиках правого і лівого коліс;
- нерівномірний знос пневматиків;
- велика різниця в зносі пневматиків коліс;
- нерівності ЗПС;
- неправильне приземлення і гальмування.

Дефекти циліндра-демпфера:

- забоїни, вм'ятини, люфти, порушення ЛФП;
- негерметичність;
- повітряні пробки;
- руйнування або деформація штоків поршнів;
- ослаблення кріплення, порушення контрування.

Основні роботи при технічному обслуговуванні:

- дефектація;
- усунення несправностей;
- перевірка працездатності системи повороту колеса при підняттю літаку або стояку. При цьому переставляються колеса з одного крайнього положення в інше і контролюються час, сигналізація, плавність розвороту, повнота розвороту, відповідність розвороту напрямку руху штурвала і педалей.

### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Які експлуатаційні чинники впливають на ТС шасі?
2. Охарактеризуйте чинники, що впливають на працездатність і ТС пневматиків коліс.
3. У чому полягають основні роботи при ТО пневматиків коліс?
4. Опишіть призначення і конструктивні особливості амортизаторів.
5. Укажіть характерні несправності амортизаторів.
6. Які основні роботи виконують при ТО амортизаторів?
7. Який порядок перевірки кількості рідини в амортизаторі і її дозаправлення?
8. Охарактеризуйте умови експлуатації і основні роботи при ТО конструктивних елементів силової схеми шасі.
9. У чому полягає ТО шарнірних з'єднань шасі?
10. Як відбувається перевірка люфтів у вузлах шасі і їх усунення?
11. Які порядок перевірки кінематики системи прибирання-випускання шасі і параметри контролю в кабіні і на землі?
12. Охарактеризуйте умови роботи і конструктивні особливості гальмівних пристроїв коліс шасі.
13. Назвіть основні допустимі і недопустимі несправності дискових гальм.
14. У чому полягають основні роботи при ТО дискових гальм?
15. Назвіть типові відмови і несправності деталей коліс, їх причини і основні роботи при їх ТО.
16. Які особливості кріплення колеса на осі з розпірною втулкою?
17. У чому суть явища «шіммі» і які конструктивні заходи попередження цього явища?
18. Назвіть причини, що викликають явище «шіммі» в експлуатації.
19. Які основні роботи виконують при ТО гідродемпферів?

### **Розділ 5**

## **ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

### **5.1. Конструктивно-експлуатаційні особливості паливних систем сучасних повітряних суден**

Паливна система літака призначена для розміщення палива і подавання його до двигунів та допоміжної силової установки (ДСУ) на всіх режимах експлуатації ПС.

Загалом паливна система містить:

- паливні баки;
- систему дренажу паливних баків;
- систему централізованого заправлення;
- систему витрачання палива;
- систему зливання палива;
- паливовимірювальну систему;
- органи керування та контролю.

Марки палива, що використовуються (робочого і пускового):

- вітчизняного виробництва: ТС-1, РТ, Т2;
- закордонного типу: Jet A-1 за сертифікатом DEFSTAN 91-91 (DERD 2494, ASTM D 1655);
- їх суміші у будь-якому співвідношенні.

Щоб запобігти утворенню кристалів льоду, у паливо додають противокристалізаційні рідини: «И», «И-М», «S-748» DERD2451, MIL-I-27686F, AIR3652B в кількості  $0,1^{+0,05}$  % від об'єму палива.

Допускається експлуатація на вказаних паливах з використанням антиелектростатичних присадок: «Сигбол», «ASA-3 Shell», «Stadis 450», DUPONT Co. 2.17 в кількості 0,003–0,001 % від маси палива, що заправляється.

### **5.2. Технічне обслуговування паливної системи**

*Основні роботи при ТО.*

Основними роботами з обслуговування паливної системи є: перевірка стану трубопроводів; перевірка стану агрегатів системи; перевірка роботи підкачувальних та перекачувальних насосів, паливного насоса ДСУ; перевірка герметичності системи живлення основних двигунів і перекривних (пожежних) кранів; заправлення та зливання палива; перевірка стану системи дренажу.

Під час заміни трубопроводів слід керуватися таким:

- встановлення трубопроводів у напруженому стані не допускається;
- кінці трубопроводів з ніпелями повинні притискатися до конусів штуцерів під дією пружних сил;
- повинен бути забезпечений зазор між трубопроводами та елементами конструкції, що виключає зношення стінок трубопроводів;
- радіус вигину трубопроводів має бути не менше 2,5 діаметра трубопроводу;
- усі різьбові з'єднання слід ретельно промити в бензині і змастити в такій кількості, щоб мастило не потрапило в систему;
- після заміни трубопроводів необхідно візуально перевірити герметичність за слідами підтікання;
- зовнішній стан трубопроводів не повинен мати недопустимих тріщин, забоїн, вм'ятин, подряпин, корозії, порушень ЛФП;
- за наявності тріщин, різких вм'ятин або плавних вм'ятин завглибшки більше ніж 10 % зовнішнього діаметра трубопроводу, корозії завглибшки більше ніж 0,1 мм або загальною площею більше ніж 10 %, подряпин завглибшки понад 0,1 мм – трубопровід підлягає заміні.

Підготовка до заправлення і заправлення паливом:

- перед заправленням необхідно перевірити паспорт і марку палива, а також пломбування заправника і стан фільтра в заправному штуцері (в разі заправлення з наземної гідрантної установки не перевіряються);
- заземлити ПС і паливозаправник;
- злити відстій палива з відстійника паливозаправника, переконавшись в чистоті злитого відстою;
- вимкнути всіх споживачів електроенергії, за винятком приладів контролю заправлення.

Заправлення може здійснюватися як через штуцер централізованого заправлення, так і через заливні горловини паливних баків. Під час заправлення через заливні горловини необхідно зрівняти електростатичні потенціали, торкнувшись заправним пістолетом металеві поверхні крила.

При огляді агрегатів паливної системи необхідно переконатися у відсутності забруднень, корозії та механічних ушкоджень –

агрегати, що мають механічні ушкодження (тріщини, забоїни), підлягають заміні. Перевіряється надійність кріплення агрегатів, стан і надійність стрічок металізації, справність контрування, стан дюритів у з'єднаннях паливних трубопроводів, відсутність пошкоджень гнучких шлангів.

Роботи по заміні агрегатів, трубопроводів та інші роботи, пов'язані з можливістю відкритого витікання палива на землю або на конструкцію ПС, виконувати за відсутності електроживлення ПС.

Не допускається попадання палива на електродроти і агрегати електрообладнання ПС.

Негерметичність баків і клапанів зливання відстою виявляється по слідах витікання палива на нижніх панелях крила, нішах шасі або під центропланом. Основна причина витікання баків – ослаблення заклепкових з'єднань панелей кесонів, неякісна їх герметизація, а зливних клапанів – зруйнування ущільнювальних кілець.

Перевірку працездатності підкачувальних насосів виконують послідовним увімкненням насосів. Здебільшого відмови підкачувальних насосів відбуваються внаслідок зруйнування підшипників (супроводжується шумом під час їх роботи, вібрацією), зношення манжет ущільнення насоса.

За будь-якої пори року необхідно слідкувати за чистотою забірника повітря системи дренажу паливних баків.

Приблизно через 15 хв після заправлення необхідно злити відстій палива з кожного бака по 0,5–1 л у чистий скляний посуд через зливні паливні клапани. Відстій зливають за допомогою спеціального шланга з наконечником, який під'єднують до зливного крана баків.

Зруйнування корпусів паливних фільтрів може бути викликане підвищеними пульсаціями палива в системі. Засмічення фільтрувальних елементів (ФЕ) паливних фільтрів кристалами льоду можливе за низьких температур зовнішнього повітря.

*Характерні відмови і несправності, їх причини та наслідки.*

1. Порушення герметичності, що призводить до втрати палива, пожежі. Цьому сприяють вібрації, деформації, корозія, неякісний монтаж.

2. Засмічення паливних фільтрів, яке спричинює вимикання двигунів, що є загрозою для безпечного польоту ПС. Цьому сприяють неякісне паливо, вода у паливі, іній у баках, окиснення палива, корозія внутрішніх поверхонь.



3. Відмова кранів, насосів, що призводить до вимикання двигунів і є загрозою для БП. Головна причина – знеструмлення електричної мережі.

4. Забруднення патрубків дренажу, що спричинює деформації баків. Цьому сприяють пил у повітрі, бруд на ЗПС, волога, сніг.

### 5.3. Наявність води в паливі

Паливо гігроскопічно, тобто вбирає вологу. Вода в паливі небажана, адже викликає корозію внутрішніх поверхонь агрегатів і може замерзнути, закупорити фільтри і перекрити подавання палива в двигун. Вода в паливі може перебувати в трьох станах:

- вільному;
- у вигляді водно-паливної емульсії;
- розчиненому.

У вільному стані вода легко видаляється у вигляді відстою. Розчинена вода не є небезпечною доти, доки вона при охолодженні не виділилась у водно-паливну емульсію. Розчинність води в паливі залежить від його виду (в бензині вода розчиняється більше, ніж у гасі), від відносної вологості, атмосферного тиску і температури. Що вище дані показники, то більше розчинність.

При тривалих польотах на крейсерській висоті температура палива значно знижується і може досягати мінус 50 °С залежно від швидкості польоту, теплоізоляції баків, часу польоту і вихідної температури. Фазові переходи води в паливі в польоті показані на рис. 5.1.

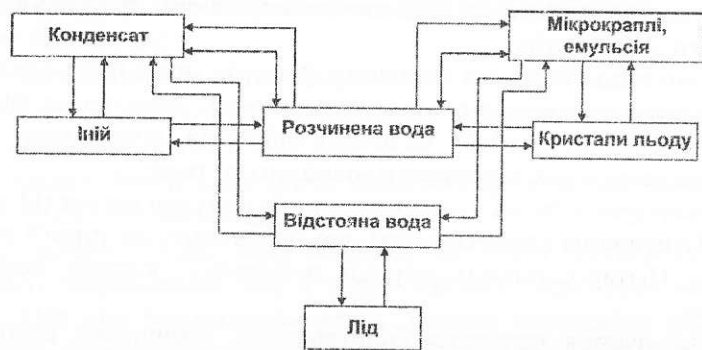


Рис. 5.1. Імовірні фазові переходи води в паливі під час польоту при різних поєднаннях температури, вологості повітря, розмірів крапель вологи

Оскільки розчинність води в паливі при зниженні температури падає, то надлишок води виділяється у вигляді крапель у 10–40 мкм, утворюючи водно-паливну емульсію. Краплі не одразу перетворюються в лід, а залишаються в рідкому переохолодженому стані. Що менше розмір крапель, то нижча температура переохолодження.

Рухаючись разом з паливом, краплі нашттовхуються на сітки фільтрів, стінки трубопроводів у вигинах (колінах) і миттєво кристалізуються, перетворюючись на лід, закупорюючи фільтри і коліна та перекриваючи доступ палива у двигун.

У разі тривалого зберігання палива в баках в умовах низьких температур волога в повітрі кристалізується у вигляді інію на стінках та поверхні палива і потрапляє в нього, що теж може призвести до закупорювання фільтрів. Що більше вільна від палива поверхня бака, то більше утворюється інію. Тому в осінньо-зимовий період під час тривалих стоянок літака рекомендується баки тримати повністю заправленими паливом для зменшення вільного їх об'єму. Крім того, паливо, змочуючи гуму баків, запобігає її пришвидшеному старінню.

*Способи запобігання утворенню льоду в паливі:*

1. За стійкої низької температури зовнішнього повітря (нижче – 10 °С) – виморожування протягом не менше трьох діб, відтак проводиться фільтрування для видалення кристалів льоду. Цей спосіб трудомісткий і дорогий.

2. Очищення фільтрами-сепараторами. Теж занадто трудомісткий і дорогий спосіб.

3. Підігрівання ФЕ. Недостатньо ефективно і пожежонебезпечно.

4. Підігрівання в паливомасильному радіаторі.

5. Висушування палива в баках ПС шляхом продування над його поверхнею сухого теплого повітря. Під час ТО наразі не використовується.

6. Очищення електростатичними фільтрами (патент НАУ). На літаках не застосовується, тому що фільтри мають великі об'єм і масу.

7. Найефективнішим способом є додавання до палив спеціальних присадок, що підвищують розчинність води в паливі і утворюють із водою суміші з низькою температурою замерзання. Це рідина «И» (етилцелозольф) і «ТГФ» (тетрагідрофурфуриловий спирт). Застосування рідини «И» – 85 %, «ТГФ» – 15 %.

Рідина «И» безбарвна, зі слабким етерним запахом, не викликає корозії. Ефективність у паливі зберігається до одного року.

Додавання присадок проводять у цистернах на складах ПММ за допомогою паливних заправокників і дозаторів.

#### 5.4. Біологічна активність палива та біологічні ушкодження елементів конструкції паливної системи

Деякі мікроорганізми здатні швидко розвиватися в паливах, живлячись вуглеводнями. Було встановлено, що під час експлуатації ПС мікроорганізми викликають:

- засмічення датчиків паливної системи і фільтрів;
- руйнування верхніх захисних покриттів на деталях системи і деталях двигуна;
- корозію паливних баків, розташованих у крилах літаків, а також корозію самих крил.

Мікроорганізми, як правило, розвиваються у водній подушці на дні паливних резервуарів, використовуючи як поживний субстрат вуглеводні палив і різні мінеральні засмічення. Кількість мікроорганізмів особливо велика на межі розподілу «вода–паливо».

Найбільш бурхливий розвиток мікроорганізмів у нафтових паливах спостерігається в країнах з жарким кліматом, хоча не виключена можливість подібних явищ і в країнах з помірним кліматом.

Розвиток мікроорганізмів у паливі викликає такі зміни:

– помутніння палива через підвищення вмісту в ньому води. Це відбувається через утворення побічних продуктів розвитку мікробів поверхнево-активних речовин, які підвищують розчинність води в паливі;

– мікробіологічну корозію. Сульфат редуковані бактерії виділяють сірководень, який розчиняється і є надзвичайно активним, отже, викликає сильну точкову корозію паливних резервуарів і трубопроводів;

– утворення осаду. Осад мікроорганізмів нагромаджується на дні резервуара, утворюючи шар, що сприяє мікробіологічній корозії.

Крім того, осад забруднюється життєздатними мікроорганізмами і слугує постійним джерелом інфікування при кожному новому використанні резервуара та засмічення фільтрів, систем розподілу і подавання палива (рис. 5.2).

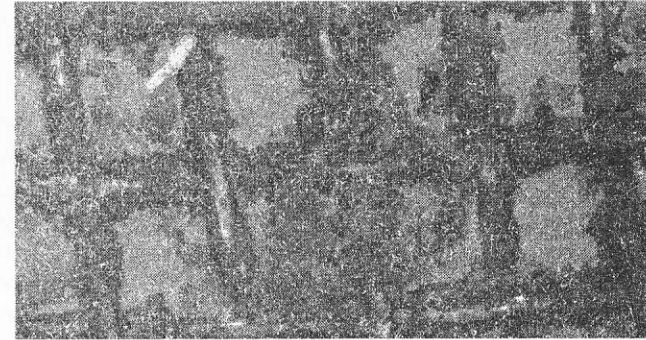


Рис. 5.2. Засмічення фільтра

У процесі росту мікроорганізмів утворюються біополімери. Це липка маса, яка разом із залишками бактерій та іншим осадом нагромаджується на фільтрах і трубах, знижуючи їх пропускну здатність. Це може призвести до виходу з ладу двигунів за рахунок розкладання домішок (домішки і присадки, особливо багаті фосфором і азотом, засвоюються мікроорганізмами, знижуючи їх ефективність).

Деякі мікроорганізми є біоагентами, тобто беруть участь безпосередньо в процесах руйнування, інші використовують для свого розвитку пошкоджені матеріали і забруднення середовища. Мікроорганізми, розвиваючись на одних матеріалах, створюють умови для розвитку ушкоджувальних процесів на інших типах матеріалів.

У процесі життєдіяльності мікроорганізми виділяють у зовнішнє середовище ферменти, що володіють високою каталітичною активністю, що набагато перевищує активність промислових каталізаторів, що пришвидшує певну хімічну реакцію і сприяє підвищенню швидкості пошкодження матеріалу.

При активному розвитку мікроорганізмів в паливі відбувається інтенсивне накопичення біомаси (об'єктів мікробіологічної природи).

У загальному обсязі можливих забруднень (технологічних, ґрунтових, продуктів окиснення палива, продуктів корозії, частинок зруйнованого лакофарбового покриття і герметика та ін.).

Вміст біомаси може досягати 80 %. Умови для пошкодження матеріалу, створення перешкод для проходження палива через

ФЕ паливних фільтрів і виникнення несправностей у паливній системі визначають розмір мікроорганізмів і їх кількість.

Присутність мікробіологічних об'єктів у паливі і засмічень не завжди свідчить про мікробіологічну природу пошкодження елемента конструкції, що призвів до виникнення несправностей або відмови агрегатів паливної системи.

У багатьох випадках мікроорганізми, що розвинулися в досить великій кількості, можуть лише сприяти виникненню ушкоджень і несправностей. Головною причиною є процеси корозійного пошкодження матеріалу, старіння полімерних матеріалів, окиснення палива та ін., що протікають з їхньою участю.

У процесі біологічного обміну речовин вони виділяють кислі органічні речовини і, можливо, сірководень і сірчану кислоту, які викликають суттєві пошкодження, що мають пітінговий характер, особливо при тривалому впливі всередині застійних ділянок, аж до появи течі кесонних баків.

Основними конструктивними та експлуатаційними чинниками, які сприяють створенню відповідних умов для інтенсивного розвитку мікрофлори в паливній системі, є:

- наявність у баках-кесонах великої кількості невідпрацьованого і незливарного залишку палива, що містить накопичену в процесі експлуатації воду;
- експлуатація в кліматичних районах, що мають оптимальний температурний режим для розвитку мікроорганізмів;
- тривалі простоти на землі при сприятливій для розвитку мікроорганізмів температурі зовнішнього середовища;
- можливе заправлення ПС паливом, що містить значну кількість вуглеводневих окиснювальних мікроорганізмів (у випадках зберігання палива до його заправлення в умовах, що сприяють розвитку мікроорганізмів).

Присутність біомаси та забруднення у воді можна визначати візуально (рис. 5.3). Характерною ознакою є наявність драглеподібних слизових або пластівчастих утворень різного кольору.

При експлуатації ПС в тропічних умовах неодноразово відзначалися випадки засмічення паливних фільтрів і корозії паливних ємностей і трубопроводів. Причиною цих явищ були різні бактерії і грибки, що поселяються на межі розподілу палива і води.

Продукти життєдіяльності, що складаються з органічних кислот, спиртів і етерів, викликають інтенсивну корозію стінок паливних баків, трубопроводів і апаратури.

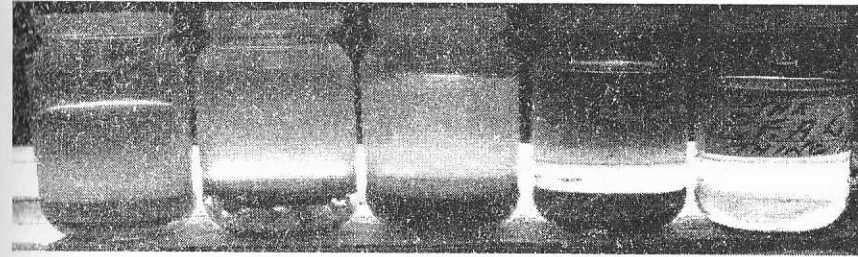


Рис. 5.3. Проби палива, у яких виявлено забруднення

У баках-відсіках можуть виникнути осередки корозійного ураження силових елементів конструкції ПС у важкодоступних місцях. Грибки і пліснява нерідко утворюють видиму неозброєним оком плівку або досить товстий шар і можуть викликати механічне засмічення не тільки фільтрів, але і жиклерів, форсунок та дренажних отворів.

У нижніх частинах паливних відсіків накопичується слизовий осад, що містить забруднення, бактерії, цвіль і воду. Під ним руйнуються захисне покриття і ущільнювачі, нерідко спостерігається наскрізне корозійне руйнування обшивки, панелей і силових елементів (рис. 5.4).

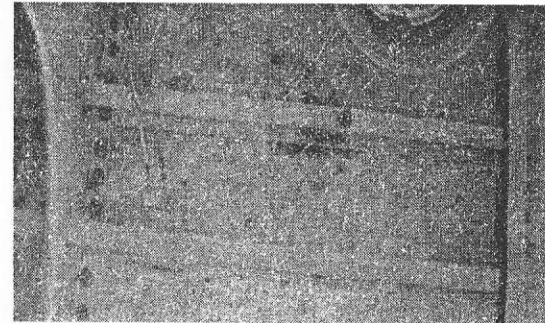


Рис. 5.4. Розвиток корозії в паливному відсіку

За даними американських досліджень, окремими роками на літаках були вражені корозією паливні відсіки на великих площах.

Осад містить велику кількість агресивних компонентів, що виділяються грибками, цвілью і бактеріями. Дослідження показали, що понад ста видів різних мікроорганізмів систематично поселяється в паливних системах.

Спори грибків і бактерії не можуть бути видалені фільтруванням – вони занадто малі. Антикоровісні покриття зазвичай не можуть протистояти агресивному впливу продуктів життєдіяльності мікроорганізмів. Виняток становлять покриття на основі епоксидної смоли. Матеріали для герметизації, які використовують у баках-відсіках, також розкладаються під дією мікроорганізмів.

Бактерії, що розвиваються в паливі авіаційних реактивних двигунів, можуть викликати корозію і призводити до виходу з ладу паливних фільтрів і трубопроводів. Надійним способом запобігання розвитку бактерій в авіаційному паливі є заморожування.

### 5.5. Заходи боротьби з мікробіологічними забрудненнями

Мікроорганізми, що розвиваються в паливі, можуть жити тільки у воді. У паливних баках вони перебувають у водяних краплях, які утворюються при конденсації, а харчуються паливом і присадками, що містяться в ньому. Конденсація відбувається за низьких температур, коли дозвукові літаки підіймаються на крейсерську висоту, а для розвитку мікроорганізмів необхідно тепло.

Таким чином, у паливі дозвукових ПС необхідне для життя мікроорганізмів середовище утворюється на висоті, а необхідні теплові умови створюються на землі. При цьому зростання бактерій значною мірою обмежується, якщо ПС протягом тривалого часу перебуває за температури нижче температури замерзання води.

Основними заходами боротьби з мікробіологічною корозією є:

- регулярне зливання і контроль осаду;
- ретельне промивання системи;
- застосування біоцидних присадок до палива, наприклад, рідини «И» (моноетиловий етер етиленгліколю).

Ефективним засобом боротьби з мікроорганізмами в паливі, за закордонними джерелами, виявився моноетиловий етер, котрий вводиться в паливо як присадка. Він добре розчиняється у воді. 10 ... 15 % його концентрації досить для знищення мікроорганізмів. Гліцерин перешкоджає руйнуванню покриттів, а також має бактерицидну дію. Рідина «И», що додається для запобігання утворенню кристалів льоду, також доволі ефективно діє проти мікроорганізмів.

Перспективним засобом боротьби з мікроорганізмами є додавання в паливо розчинних борорганічних з'єднань. На рис. 5.5 про-

демонстровано ефективність цього засобу (за результатами випробувань, проведених у тропічній зоні).

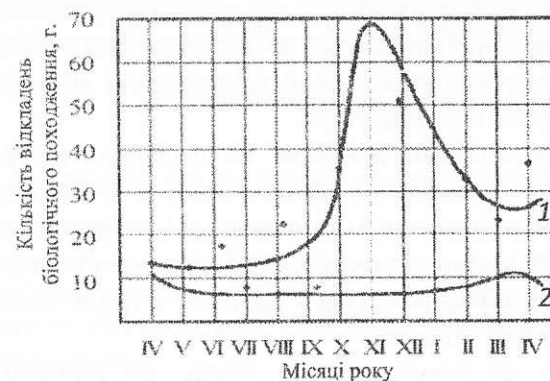


Рис. 5.5. Розвиток мікроорганізмів у паливі:  
1 – без присадки; 2 – з борорганічною присадкою

Підвищення стійкості конструкції і палива до впливу мікробіологічних чинників можливо шляхом застосування в паливних системах більш біостійких матеріалів і усунення (зменшення) в конструкції застійних зон.

Значну частину мікроорганізмів можна затримувати при пропусканні палива через водяні фільтри. Оскільки однією з умов, які сприяють розмноженню мікроорганізмів у паливі, є присутність у ньому води у вільному стані, то для боротьби з мікроорганізмами використовують фільтрування, коагуляцію води, наносять антикорозійне покриття на поверхню баків і деталей паливної системи, забезпечують чистоту палива в процесі його зберігання та експлуатації.

Із механічних способів знищення, пригнічення росту і видалення мікроорганізмів з палив рекомендують передусім два способи: знищення мікроорганізмів дією електромагнітного випромінювання з частотою радіохвиль та видалення їх з палив за допомогою бактеріальних фільтрів.

Найефективнішим вважалось комплексне оброблення палив шляхом внесення інгібіторів у поєднанні з фільтруванням палив через фільтри, поверхня яких насичена цим самим інгібітором.

Процес винаходу ефективних антисептиків, що вносяться до палива і діючих протягом тривалого часу, почався на початку 1960-х років.

У деяких працях зазначалося, що інгібітори повинні бути розчинні і в паливах, і у водній подушці, а також знищувати мікроорганізми в обох фазах.

Багаторічні спостереження за резервуарами з покриттям з фуранових смол показали, що життєдіяльність мікроорганізмів у таких резервуарах пригнічується.

Отримані комплексні присадки на основі антистатиків (олеат хрому, дісаліцілатолеат хрому, діолеат хрому (8-дикетонів фероцена і циклопентадієнілтрикарбоніл марганцю та ін.) та бактеріцидів (діметилдіалкіламмоній хлорид і діметілалкілбензіламоній хлорид) пригнічують розвиток мікроорганізмів у паливах, а також додають паливу антистатичних властивостей.

Ефективно діє присадка PFA 55MB. Як біоцидні присадки застосовують деякі борорганічні з'єднання, наприклад, Bioior RD.

Наприкінці 1990-х років американська хімічна компанія «Rohm and Haas» розробила біоцид Kathon FP 1,5 на основі похідних ізотіазолону.

Біоцид Kathon FP 1,5 має такі властивості:

– широкий спектр антимікробної дії – у надзвичайно низьких дозах активно діє проти будь-яких мікроорганізмів (бактерій, грибків, цвілі), зазвичай трапляється в паливних системах;

– швидке придушення росту мікробів – Kathon FP 1,5 викликає негайне інгібування росту, щойно починає контактувати із мікроорганізмами. Проміжок часу, необхідний для повного знищення мікроорганізмів, залежить від розміру забруднення і видів присутніх мікроорганізмів (зазвичай через 6–36 год після оброблення паливо можна використовувати знову);

– тривалий захист – паливо, оброблене Kathon FP1,5, захищається на тривалий термін (не менше 8-и тижнів), воно також стійке до нового забруднення, занесеного з іншого джерела;

– цілковитий захист системи забезпечується розчинністю Kathon FP 1,5 у воді і в паливі, що забезпечує його присутність в обох фазах, що дозволяє повністю усунути забруднення водної подушки на дні резервуара і забезпечити цілковитий захист палива під час його перекачування.

Kathon FP 1,5 випробуваний і схвалений для використання як домішка до палива компаніями «Rolls Royce», «Pratt and Whitney», «General Electric», «Boeing» та ін. Широко використовується в цивільній і військовій галузях. Також Kathon FP 1.5 рекомендований для використання в паливі Jet A-1, якість якого суворо контролюється.

#### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Перелічіть характерні відмови та несправності паливних систем, причини і наслідки цих відмов і несправностей.
2. Назвіть основні роботи при ТО паливних систем.
3. Охарактеризуйте стани води в паливах і її вплив на працездатність паливної системи.
4. Назвіть способи запобігання утворенню льоду в паливі.
5. Які існують способи перевірки чистоти палива?

## Розділ 6

### ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Споживачами ГС є: гальмівна система (основне, аварійне, стоянкове гальмування і автоматичне гальмування коліс після злету); прибирання і випускання шасі; керування поворотом коліс передньої опори шасі; керування: кермом висоти, кермом напрямку, елеронами, закрилками і передкрилками та інтерцепторами, спойлерами, стабілізатором, реверсивними пристроями ГТД тощо.

#### 6.1. Конструктивно-експлуатаційні особливості гідралічних систем сучасних літаків

Багатофункціональність ГС сучасних літаків відображається на їх конструктивно-експлуатаційних особливостях.

До них належать:

- високий тиск – до 28 МПа;
- значна маса (до 3 % злітної маси);
- велика кількість агрегатів (до 500);
- істотна довжина трубопроводів (до 5000 м);
- багаторазове резервування;
- наявність інших систем (повітряної та електричної).

Система має велике значення для забезпечення БП, тому за нормами ЛП імовірність її відмови повинна бути близько  $10^{-7}$  ...  $10^{-8}$ . Водночас статистичні дані свідчать, що на частку ГС припадає 20–30 % відмов усіх систем літака, а це значить, що дана система потребує ретельного догляду і ТО.

#### 6.2. Чинники, що впливають на технічний стан і працездатність гідросистем

За результатами наукових досліджень та досвіду експлуатації чинники впливу на ГС гідравлічної системи такі:

1. Навантаженість елементів, тобто характеристики змін тиску, витрати, напруги, температури за часом.

Весь складний спектр навантажень, що впливають на елементи ГС, ділиться на три групи:

1) статичні – внутрішній постійний тиск рідини;

2) повторно-статичні – навантаження від зміни тиску при спрацюванні споживачів, автомата розвантаження (АР), зміні режиму роботи двигуна тощо, що призводять до гідрударів;

3) динамічні – навантаження від пульсації рідини, вібрації двигуна тощо. Їх частоти і амплітуди мають широкий діапазон. Дуже небезпечні резонансні явища.

2. Конструктивні особливості системи і її агрегатів: вибір типів насосів, вплив зазорів і зношування, які залежать від конструкції і матеріалу ущільнень, поверхонь штоків та виконавчих механізмів, що впливає на герметичність.

3. Властивості робочого тіла і його зміни в процесі експлуатації – стисливість, температурне розширення, в'язкість, хімічна стійкість.

Як робочу рідину застосовують:

- рідина АМГ-10 (авіаційне мастило гідравлічне з в'язкістю  $\gamma = 10 \text{ мм}^2/\text{с}$  при  $t = +50 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Діапазон робочих температур –  $60 \dots +60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Склад: нафтовий продукт (92,8 %), органічний згущувач (7,2 %), протіокиснювачі (0,05 %), барвник (0,01 %). Колір рідини – червоний. Рідина пожежонебезпечна. Аналогами АМГ-10 є:

• рідина Hydraunicoil FH 51 (робочий діапазон температур –  $60 \dots +55 \text{ }^\circ\text{C}$ , в'язкість за температури  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $13,0 \text{ мм}^2/\text{с}$ , колір – червоний) виробництва фірми NYCO (Франція);

• рідина AeroShellFluid 41, яка володіє дуже високим рівнем чистоти і підвищеної низькотемпературної плинності;

- НГЖ-4у – синтетична, вибухопожежобезпечна, ерозійно стійка на основі етерів фосфорної кислоти. Робочий діапазон температур –  $55 \dots +125 \text{ }^\circ\text{C}$ , в'язкість за температури  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $8,7 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Колір – фіолетово-синій;

- НГЖ-5у – синтетична, вибухопожежобезпечна, ерозійно стійка на основі суміші етерів фосфорної кислоти з пакетом присадок, що поліпшують експлуатаційні властивості. Робочий діапазон температур –  $60 \dots +150 \text{ }^\circ\text{C}$ , в'язкість за температури  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $8,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Колір – фіолетово-синій.

Рідини типу НГЖ токсичні і під час їх застосування потребують особливих запобіжних заходів. Аналогом рідин на кшталт НГЖ є рідина Skydrol LD-4.

Змішувати синтетичні і мінеральні рідини заборонено.

Вплив властивостей рідини АМГ-10:

- хоча стисливість становить лише 0,006 % на 1 кг/см<sup>2</sup> (0,1 МПа), але в мінеральних мастилах зазвичай міститься до 6 % нерозчинного повітря і до 18 % парогазових включень, що різко збільшує стисливість, погіршує швидкодію і призводить до виникнення ударних навантажень;

- розширюваність. Коефіцієнт об'ємного розширення мінерального мастила 0,0006 % на 1 °С, тобто невеликий, але в замкнених об'ємах може призвести до руйнування деталей;

- для виконання функцій потрібна певна в'язкість, але в процесі експлуатації і через забруднення, окиснення, високого тиску, дроселювання вона падає до 50 %, що призводить до підвищеного зносу агрегатів;

- хімічна стійкість і чистота згодом знижуються, що спричиняє погіршення змащувальних властивостей, підвищення зносу, збільшення зусиль зрушування.

4. Кліматичні умови та умови навколишнього середовища: температура зовнішнього повітря, тиск, вологість, пил. Вони сприяють корозії, зміні в'язкості рідини, збільшенню зазорів, що призводить до підвищеного тертя і зносу, погіршення еластичності ущільнень.

Агрегати ГС працюють у діапазоні температур від - 70 до + 100 °С. Температура рідини в насосах може підвищуватися до + 150 °С, а на робочих кромках клапанів - до + 500 °С. За таких температур виникають термічні деформації деталей, а це веде до зміни зазорів, заклинювання плунжерів. Крім того, посилюється корозія, виникає кавітація.

За підвищеної температури зменшується в'язкість, що викликає збільшення витоків через ущільнення; падає продуктивність насосів.

При низьких температурах збільшується в'язкість, що призводить до збільшення гідравлічного опору і падіння продуктивності насосів.

5. Якість ТО і льотної експлуатації. Доводиться виконувати регулювання, тому їх якість і своєчасність впливають на працездатність ГС. Негативно позначається наявність повітря в системі, яке знижує продуктивність насосів, викликає кавітацію, перериває струмінь.

Відтак, у процесі ТО необхідно «оберігати» систему від попадання повітря. На надійність істотно впливає якість монтажно-демонтажних робіт. Можуть виникати натяг, неспіввісність, овальність, потертості, що знижує втомну міцність трубопроводів. На ТС ГС впливає вибір режиму роботи двигунів, від цього залежать вібраційні навантаження.

### 6.3. Типові роботи під час технічного обслуговування гідросистем

У процесі будь-яких робіт на агрегатах ГС має бути обов'язково стравлено тиск у системі і в системі наддування гідравлічних баків (ГБ). Стравлювання тиску в системі виконують шляхом спрацювання споживачів, стравлювання тиску наддування - відтисканням клапана скидання тиску.

1. Перевірка чистоти рідини. Проводиться за напрацюванням і за підозри на забруднення. Для цього треба стравити тиск у ГС і тиск наддування, злити з баків або гідравлічних панелей через крани відбору мастила 1-1,5 л мастила в тару, звідти взяти в колбу 100-150 см<sup>3</sup> і здати в лабораторію ПММ, але спочатку візуально перевірити, чи немає там металевої стружки.

*Методи перевірки чистоти в лабораторіях ПММ:*

- гранулометричний - під мікроскопом підраховується в краплі кількість і розміри частинок, на які є допуски;

- ваговий - спалювання проби: при цьому золи повинно бути не більше ніж 0,008 %;

- колориметричний - за зміною кольору та інтенсивністю забарвлення порівняно з еталоном;

- вимірювання в'язкості віскозиметром (не менше 7,9 мм<sup>2</sup>/с). Якщо мастило не відповідає технічним вимогам, то його необхідно замінити, попрацювати споживачами і знову зробити аналіз.

2. Злив відстою з повітряних відстійників системи наддування ГБ і злив рідини з дренажних баків. Кількість рідини має бути в межах норми. Якщо більше норми, то причина - Perezаправлення ГБ, перегрівання і вспінювання мастила при несправності системи.

3. Перевірка забрудненості, промивання та перевірка герметичності фільтрів.

*Паливно-мастильні матеріали забруднюються:*

• продуктами, що потрапляють ззовні під час заправлення, монтажно-демонтажних робіт, перевірок, регулювання (бруд, пил, пісок, вода, частинки металу);

- продуктами зносу деталей, що труться, і корозії внутрішніх поверхонь;

- продуктами окиснення і старіння самих ПММ (кокс, шлаки, смоли, нафти, асфальтени).

Перелічені продукти затримуються фільтрами грубого і тонкого очищення.

*Фільтри грубого очищення.* Тонкість фільтрації 15–40 мкм. Фільтроелементи виготовляють із металокераміки, пластмаси, тканини. Очищають м'якою кистю вручну розчинником.

*Фільтри тонкого очищення.* Тонкість фільтрації 5–15 мкм. Затримують здебільшого забруднення третьої групи, які щільно схоплюються з поверхнею (налипають) і важко видаляються вручну. Виготовляють із нікелевого дроту саржевого плетіння. Промивають на ультразвукових установках, що складаються з генератора струму ультразвукової частоти (20–40 кГц). Струм подається на обмотку котушки, всередині якої міститься стрижень зі спеціального сплаву (пермалой), що змінює свої розміри, тобто вібує, залежно від спрямованості електромагнітного поля. До кінця стрижня приварена пластина. Через ущільнення вона вмонтована в дно ванни, у яку налитий мийний розчин (мильний, АМГ-10, спеціальний склад та ін.). Стовп рідини вібує під пластиною, виникають кавітаційні бульбашки, що створюють при закритті високу температуру і тиск, які і відривають налипли частки. Промивання виконують у двох ваннах – чорновій і чистовій. Фільтр обертається для поліпшення очищення. До і після промивання перевіряється чистота за допомогою приладу контролю чистоти фільтрів (ПКФ) (рис. 6.1).

Ступінь забруднення фільтрів оцінюється:

- без зняття з літака, за перепадом тиску на фільтрі. Зазвичай при критичному перепаді тиску загоряється червоне табло;

- при знятті з літака за допомогою спеціального приладу ПКФ.

Прилад ПКФ – це фланець із привареною трубкою, усередині якої міститься стрижень. На одному кінці стрижня – поплавок, інший кінець пофарбований у червоний колір. Фланець ПКФ з'єднується з фланцем фільтра, а з іншого боку фільтра ставиться заглушка. Вся конструкція опускається у ванну з АМГ-10 і засікається час до повного заповнення внутрішньої порожнини фільтра, що визначається по спливанню поплавка (коли з'явиться

червоний кінець стрижня). Що більше забруднення, то більше час заповнення. Величина забруднення залежить від напрацювання фільтра. Для попередження ефекту поверхневого натягу спочатку проводиться занурення з метою змочування поверхні. Для чистого фільтра час заповнення не перевищує 10 с. Якщо час заповнення менше – ФЕ негерметичний (стався розрив або розсування сітки).

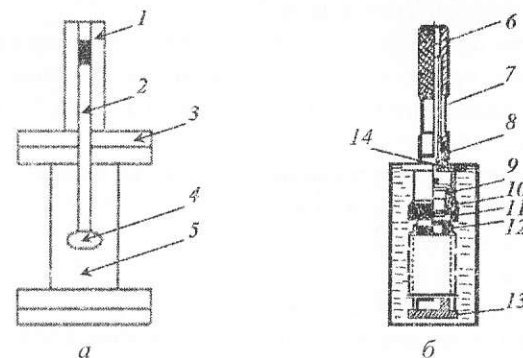


Рис. 6.1. Прилад для перевірки чистоти фільтра:

*a* – схема приладу; *б* – ПКФ; 1 – трубка; 2 – стрижень; 3 – фланець; 4, 9 – поплавки; 5 – фільтр; 6 – сигнальна кнопка; 7 – ручка; 8, 12, 10 – ущільнення; 11 – перехідник; 13 – заглушка; 14 – фланець

На сучасних літаках встановлюють одноразові фільтри, які при спрацюванні індикатора забруднення підлягають заміні.

4. Заправлення ГБ мастилом. Здійснюється при відпрацюванні ресурсу рідини, при недопустимому забрудненні фільтрів, наявності механічних домішок.

Перед заправленням стравлюють тиск у ГС і системі наддування. Заправлення і дозаправлення ГБ виконують закритим (від наземної установки) або відкритим (використовуючи воронки) способом. На літаках з ГС керування кермовими поверхнями заправлення та дозаправлення виконують тільки закритим способом. Процес заправлення рідиною ГС аналогічний процесу заправлення паливом.

Важливо, щоб під час заправлення в систему не потрапляло повітря, оскільки повітряні пробки створюють розрив струменя, що призводить до ривків і пульсації при роботі насосів, знижує швидкодю, а в гальмівній системі викликає знос підшипників.



Тому при заправленні відкорковують спеціальні пробки для стравлювання повітря, крани зливу відстою і виконують спрацьовування споживачів доти, доки струмінь рідини не почне надходити без піни і повітряних бульбашок. Після заправлення перевіряють герметичність фільтрів і трубопроводів під тиском.

5. Перевірка герметичності системи наддування ГБ і справності її запобіжного і редуційного клапанів.

6. Перевірка працездатності і герметичності командних агрегатів.

7. Перевірка працездатності і справності споживачів ГС. Виконується за напрацюванням, при заміні агрегатів і під час регулювання.

*Підготовчі роботи:*

- видалити зайве устаткування і сторонніх людей із зони робіт;
- підготувати робоче місце;
- створити напругу в бортовій мережі;
- створити тиск у ГС;
- встановити зв'язок кабіни із «землею»;
- за командами виконати спрацьовування споживачів, водно-

час контролювати:

а) у кабіні:

- час спрацьовування;
- початковий тиск;
- ступінь падіння тиску;
- справність сигналізації;
- плавність ходу (без ривків, заїдань);
- синхронність спрацьовування;

б) на «землі»:

- час і швидкість;
- плавність ходу;
- повноту, запас ходу;
- зовнішню герметичність.

#### **6.4. Технічне обслуговування трубопроводів**

Трубопроводи для ГС виготовляють з алюмінієвого сплаву (магістралі низького тиску) і нержавіючої сталі (магістралі високого тиску). У місцях, що мають значні переміщення деталей конструкції, замість трубопроводів встановлюють гнучкі шланги. Трубопроводи з алюмінієвих сплавів покривають захисним покриттям сірого кольору. Трубопроводи високого тиску не фарбують.

*Чинники, від яких залежать надійність і ТС трубопроводів:*

1. Навантаження:

- статичні навантаження від високого постійного тиску рідини;
- вібраційні навантаження від пульсації тиску під час роботи насосів і від вібрації двигунів;
- перевантаження від гідравлічних ударів (закидань тиску) при увімкненні-вимкненні кранів, споживачів, при спрацьовуванні АР;
- перегрівання рідини від пульсації і гідравлічних ударів.

2. Кліматичні умови і навколишнє середовище:

- температура;
- тиск;
- вологість.

3. Умови льотної експлуатації і ТО:

- вибір режимів роботи двигунів;
- вибір режимів польоту;
- правильність і своєчасність регулювань;
- наявність повітряних пробок;
- якість монтажу (перекоси, натяг, овальність, неспіввісність).

*Типові відмови і несправності:*

1. Механічні пошкодження:

- тріщини [поздовжні (в місцях вигинів), поперечні (в місцях розвальцьовування і ніпельних з'єднаннях)] не допускаються;
- потертості, карбування;
- пошкодження ЛФП, деформації (вм'ятини, овальність, за-  
боїни, риси). На все перелічене є допуски.

2. Корозія. На неї є допуски.

3. Ослаблення кріплень трубопроводів і відбортовки.

4. Порушення металізації.

*Основні роботи при ТО:*

1. Перевірка зовнішньої герметичності проводиться візуально, коли система знаходиться під тиском. При негерметичності проводиться підтягування гайок стиків, але не надмірно.

2. Перевірка якості монтажу, розвальцьовування і притирання ніпельів.

3. Дефектація.

4. Заміна трубопроводів при тріщинах, течі і при виході відмов і несправностей за допуски. При цьому слід не допускати перекосів, натягу, витримувати співвісність, радіуси заокруглень, овальність. У місцях зіткнення обтягувати шкірою або дерматином.

*Допуски на зазори:*

- між трубопроводами в пакеті – не менше ніж 2 мм;
- між трубопроводами і деталями каркаса – не менше ніж 5 мм;
- між трубопроводами і рухливими деталями – не менше ніж 10 мм.

### 6.5. Способи перевірки внутрішньої негерметичності системи і агрегатів

Внутрішня негерметичність – це перетікання рідини в агрегатах з порожнин з високим тиском у порожнини з низьким або нульовим тиском через нещільності в ущільненнях. Це призводить до більш частого спрацювання АР насосів, і як наслідок – до пульсації тиску рідини, що може викликати руйнування агрегатів ГС.

*Способи перевірки:*

1. У системі створюється тиск від наземної установки або НС. Потім вони вимикаються і засікається час падіння тиску від номінального значення до заданого рівня, або навпаки, ступінь падіння тиску за заданий час (зазвичай одну годину).

Якщо цей час менше нормативу, то слід спочатку відшукати ділянку зі зниженою герметичністю, а потім на цій ділянці знайти негерметичний агрегат(и). Їх шукають за допомогою одного з методів пошуку несправностей у складних системах:

- послідовного вимкнення;
- половинного розбиття (серединної точки);
- мінімальних працевитрат;
- максимальної ймовірності;
- працевитрати – імовірність (береться їх співвідношення).

2. У системах з автоматами розвантаження внутрішня негерметичність може бути визначена за відхиленням частоти спрацювання АР від норми, за умови, що на це не впливає будь-яка інша причина.

3. Негерметичність окремих агрегатів можна виявити шляхом їх зняття і перевірки в лабораторії.

4. Один із способів перевірки негерметичності агрегатів: від порожнини з нульовим тиском від'єднати зворотний трубопровід, під штуцер підставити мірну ємність. Міра негерметичності – кількість рідини, що витекла.

5. Негерметичність конкретних агрегатів можна перевіряти течешукачами, заснованими на різних принципах роботи, наприклад, ультразвуковому, термоанемометричному тощо.

### 6.6. Перевірка початкових тисків азоту в азотній порожнині гідравлічного акумулятора і гасителя пульсації

*Початковий тиск азоту* спостерігається, коли гідравлічний акумулятор (ГА) розряджений, тобто тиск рідини дорівнює нулю.

Правильність заряджання ГА азотом визначають кількома методами:

1. Манометром на зарядному штуцері азотної порожнини ГА.
2. Вбудованим стаціонарним манометром.
3. За моментом миттєвого скидання тиску в ГС: у системі створюється тиск, потім він стравлюється споживачем. Тиск падає спочатку повільно, а потім різко – до нуля. Перехід і є шуканим тиском.
4. За миттєвим підвищенням тиску в ГС. При увімкненні НС або наземної гідроустановки тиск стрімко зростає до певного значення, що відповідає початковому тиску азоту.

Перевірка герметичності азотної порожнини ГА та гасників пульсації здійснюється на літаку під час його тривалої стоянки або при знятті з літака. Після витримання впродовж трьох діб заміряють рівень падіння тиску від початкового значення, на що є норматив. На літаку перевірка герметичності газової порожнини здійснюється шляхом відтискання вручну зворотного клапана зарядного штуцера. Якщо в струмені азоту, що виходить, проглядаються крапельки рідини, то ГА негерметичний.

Можливі місця витоків:

- клапан зарядного штуцера;
- зварювальні шви зарядного штуцера;
- ущільнення;
- зварювальні шви елементів корпусу.

### 6.7. Особливості технічного обслуговування джерел тиску гідросистеми з насосами різної конструкції

Потужність насоса:  $N = K \cdot P \cdot Q$ , де  $K$  – коефіцієнт;  $P$  – тиск;  $Q$  – продуктивність насоса.

*Існують такі різновиди насосів:*

- постійної продуктивності ( $Q = \text{const}$ );
- змінної продуктивності ( $P = \text{const}$ );
- з автономним приводом ( $P = \text{const}$  або  $Q = \text{const}$ ).

**6.7.1. Особливості технічного обслуговування джерел тиску гідросистем з насосами постійної продуктивності**

Як правило, шестеренні насоси прості за конструкцією і надійні в роботі. В систему також входить АР (рис. 6.2, 6.3).

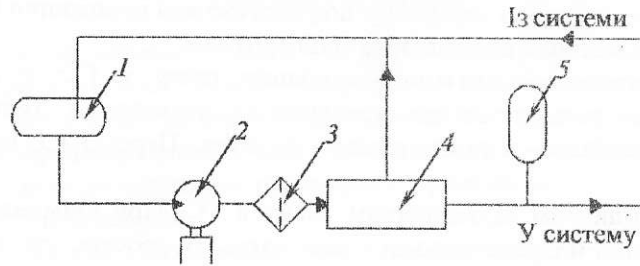


Рис. 6.2. Схема ГС з насосами постійної продуктивності: 1 – бак; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – автомат розвантаження; 5 – гасник пульсації

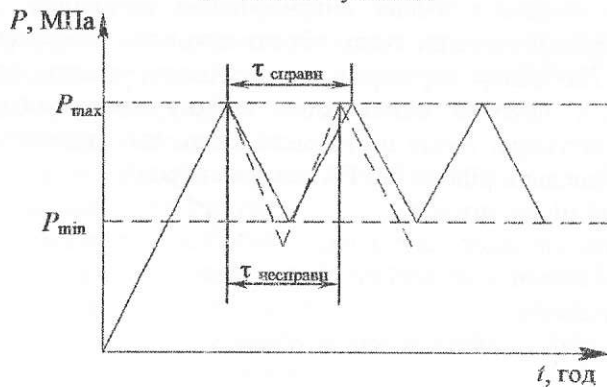


Рис. 6.3. Схема роботи насоса з АР:

$\tau_{\text{справн}}$  – періодичність (частота спрацьовування АР) за відсутності несправності;  $\tau_{\text{несправн}}$  – періодичність за наявності несправності

Працює система так – при працюючих споживачах АР постійно подає насосом рідину з бака в систему. При непрацюючих споживачах спочатку в системі створюється номінальний тиск, після чого АР перемикає подавання рідини від насоса в бак (холостий хід).

Незважаючи на те, що споживачі не працюють, тиск у системі через внутрішні витоки падає. Коли тиск досягне заданої величини  $P_{\text{min}}$  (зазвичай це 60–70 % від номінального тиску), АР перемикає подавання рідини від насоса на підзаряджання системи (робочий хід), і так відбувається циклічно, аж до спрацьовування споживачів.

Особливістю ТО є:

- перевірка  $P_{\text{max}}$ ,  $P_{\text{min}}$  за манометром;
- перевірка частоти (часу) спрацьовування АР;
- відшукування несправностей при більш частому спрацьовуванні АР, ніж визначено в технічних умовах.

Можливі причини частого спрацьовування АР:

- зовнішні витоки;
- знижений тиск азоту в ГА;
- несправність або розрегулювання АР;
- знижена в'язкість рідини;
- внутрішня негерметичність.

Часто одна причина тягне за собою іншу. Так, внутрішня негерметичність призводить до підвищеної температури рідини і зниження її в'язкості, що своєю чергою, збільшує внутрішню негерметичність. Причину частого спрацьовування можна шукати за допомогою одного з розглянутих вище методів, наприклад, працевитрати – імовірність.

Хоча зовнішні витоки рідкісні, але виявити їх легко візуально, тому вони названі в списку першими. Внутрішні витоки є найчастішою причиною, але пошук негерметичності агрегату занадто трудомісткий, тому ця причина в списку названа останньою.

Вплив частого спрацьовування АР на справність і працездатність ГС:

1. Виникають закидання тиску (гідравлічні удари), що викликає підвищені механічні навантаження, які можуть призвести до руйнування фільтрів, насосів, трубопроводів.
2. При дуже частому спрацьовуванні тиск стає пульсуючим, що викликає втомні навантаження, які призводять до пошкодження трубопроводів, зносу агрегатів.
3. Рідина нагрівається, що збільшує внутрішню негерметичність і призводить до падіння продуктивності насоса.

### 6.7.2. Особливості технічного обслуговування елементів гідравлічних систем з насосами змінної (регульованої) продуктивності

У таких системах насоси (рис. 6.4), як правило, плунжерного типу з похилою шайбою, за допомогою якої регулюється продуктивність.

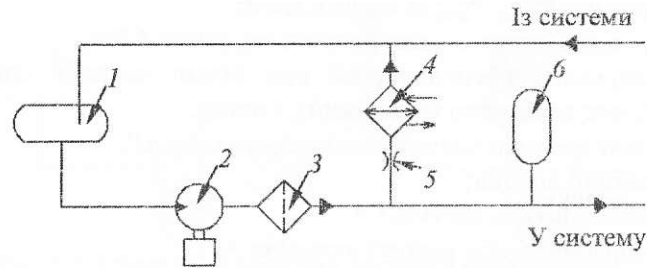


Рис. 6.4. Схема ГС з насосами змінної продуктивності:  
1 – бак; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – теплообмінник;  
5 – дросель; 6 – гасник пульсації

Під час роботи споживачів продуктивність максимальна. Якщо споживачі не працюють, то продуктивність все одно не нульова, а має певне мінімальне значення (приблизно 4 л/хв).

Відтак, частина рідини йде у систему для заповнення внутрішніх витоків, а інша частина через дросель постійної витрати і теплообмінник надходить у бак.

Мінімальна витрата необхідна, щоб забезпечити змащення насоса своєю ж рідиною, зменшити його нагрівання і пришвидшити виведення на режими підвищеної продуктивності. Дросель постійної витрати – це гідравлічний опір, що складається з набору кілець різного діаметра в корпусі з фільтрувальною сіткою попереду.

Тут рідина нагрівається і потім охолоджується в теплообміннику – змійовику з алюмінієвої трубки. Гасник пульсації слугує для згладжування пульсації плунжерного насоса і поповнення рідини під час роботи споживачів.

Особливість ТО полягає в промиванні сітки і ґратки дроселя постійної витрати, дефектації, заміні агрегатів, що відмовили.

### 6.7.3. Особливості технічного обслуговування гідросистем з автономним приводом насосів

Зазвичай НС із приводом від електродвигуна є резервною (аварійною) в польоті, а також слугує для перевірки працездатності елементів ГС на землі.

Існує три типи НС:

1. Насосна станція після увімкнення працює постійно аж до примусового вимкнення (працює як насос змінної продуктивності, тобто має дросель постійної витрати, холодильник, гасник пульсації).

2. Насосна станція працює при увімкненні споживача і вимикається наприкінці роботи від кінцевого вимикача.

3. Насосна станція працює з реле тиску за принципом насоса постійної продуктивності, тобто вмикається від реле тиску, а при створенні номінального тиску НС вимикається, і так працює циклічно. Якщо ж тиск унаслідок зовнішніх витоків падає нижче заданого, незважаючи на увімкнену НС, то загоряється червона сигнальна лампочка, якщо екіпаж систему не вимкнув, а тиск продовжує падати, то при певному низькому тиску (4 МПа) реле тиску дає команду на вимкнення.

Основні роботи при ТО.

1. Перевірка продуктивності насосів за часом заряджання ГА, тобто за часом створення в системі номінального тиску (якщо час перевищує норму, то причинами можуть бути внутрішні, зовнішні витoki, несправності насоса).

2. Перевірка працездатності насосів і справності системи за ступенем падіння тиску в процесі спрацьовування споживачів. Якщо тиск нижче, то причинами можуть бути падіння продуктивності насоса, зменшення початкового тиску азоту в ГА, зовнішні і внутрішні витoki.

3. Перевірка справності електричної частини при неспрацьовуванні насоса (порядок перевірки: перемикач, насос, проводка електричного кола).

4. Перевірка справності системи і НС з реле тиску (3-й тип) за частотою спрацьовування  $P_{\max}$  і  $P_{\min}$  і тиском сигналізації [причини частого спрацьовування такої НС можуть бути ті самі, що і в системі з АР (див. вище)].

### Запитання та завдання для самоперевірки

1. У чому полягають конструктивно-експлуатаційні особливості ГС сучасних літаків?
2. Охарактеризуйте чинники, що впливають на ГС і працездатність ГС.
3. Дайте характеристику рідин, що застосовуються в ГС.
4. Перелічіть типові роботи при ТО ГС.
5. Назвіть способи перевірки чистоти гідравлічної рідини.
6. Назвіть види забруднень ПММ і способи їх фільтрування й очищення.
7. Опишіть схему ПКФ і принцип його використання.
8. У чому полягає принцип очищення ФЕ на установці УЗУ?
9. Який порядок перевірки працездатності споживачів ГС і параметри контролю?
10. Які чинники впливають на надійність і ГС трубопроводів ГС?
11. Назвіть типові відмови і несправності трубопроводів ГС.
12. У чому полягають основні роботи при ТО трубопроводів ГС?
13. Назвіть способи перевірки внутрішньої негерметичності ГС і її агрегатів.
14. Як проводиться перевірка початкового тиску азоту в азотній порожнині гідравлічного акумулятора і гасителя пульсації?
15. Охарактеризуйте різновиди гідравлічних насосів.
16. Які особливості схеми і принцип роботи ГС з насосами постійної продуктивності?
17. Опишіть схему роботи насоса з АР.
18. Які особливості ТО гідросистем з АР?
19. Назвіть причини частого спрацьовування АР і опишіть їх пошук.
20. Як впливає часте спрацьовування АР на справність і працездатність ГС?
21. Розкажіть про схему і принцип роботи ГС з насосами змінної продуктивності.
22. У чому особливості ТО ГС з насосами змінної продуктивності?
23. Які бувають типи НС? Опишіть їх призначення і принцип роботи.
24. Назвіть основні роботи при ТО ГС з насосними станціями.

### Розділ 7

## УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

Зважаючи на правила CS-25 (Large Aeroplanes) EASA, СУ містить: мотогондолу; газотурбінний двигун (ГТД); паливну та мастильну системи; систему пожежогасіння (за наявності); контрольно-вимірну апаратуру; вузли кріплення двигуна.

Газотурбінний двигун є частиною СУ ПС, який призначений для створення тяги (потужності), що дає змогу здійснювати тягову роботу з переміщення ПС (сила тяги врівноважує силу лобового опору).

### 7.1. Проблема вдосконалення методів технічного обслуговування та ремонту газотурбінних двигунів

Темпи науково-технічного прогресу в авіадвигунобудуванні дуже високі. З кожним новим поколінням двигунів зростають їхні економічні показники (питома витрата палива, питома тяга, питома вага) за рахунок більш жаростійких матеріалів, ускладнення умов роботи, ускладнення конструкції й автоматики двигунів. Це призводить до подорожчання двигунів загалом, вартість 1 Н тяги і 1 кг маси з кожним новим поколінням двигунів підвищується на порядок і більше.

Якщо вартість ГТД за весь період експлуатації від виготовлення до списання взяти за 100 %, то вартість нового двигуна становить 45 %, вартість ремонтів – 45 % і вартість ТО – 10 %. Амортизаційні відрахування по двигунах досягають 50–60 % від відрахувань загалом по ЦА.

З іншого боку, при малому міжремонтному ресурсі потрібні значні грошові витрати на ремонт і великий оборотний фонд, адже двигуни тривалий час перебувають у невиробничій сфері.

Для існуючих двигунів типові дані з їх використання:

- коефіцієнт використання – 0,6;
- коефіцієнт простою в очікуванні ремонту – 0,15–0,2;
- коефіцієнт простою в ремонті – 0,05–0,07;
- коефіцієнт простою в очікуванні установлення двигуна на літак – 0,15–0,2.

Як бачимо, близько 40 % часу АД не використовується, а це значить, що на кожне ПС крім основного потрібен ще один запасний авіаційний двигун.

Шляхи зниження витрат:

1. Збільшення міжремонтних (до 10 тис. год) і призначених (до 20 тис. год) ресурсів. Але на цей процес йде близько 10 років. Крім того, у міру напрацювання високоресурсних двигунів знижується ймовірність їх безвідмовної роботи.

2. Для усунення суперечності між збільшенням ресурсу і зниженням БП найефективнішим шляхом є впровадження стратегії ТО за станом (рис. 7.1).

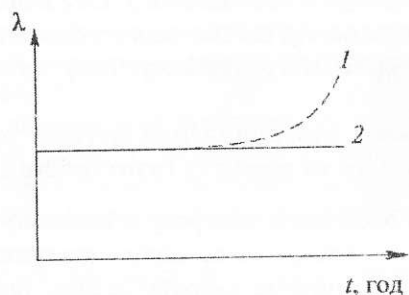


Рис. 7.1. Типова залежність інтенсивності відмов у польоті від напрацювання:  $\lambda$  – інтенсивність відмов;  $t$  – напрацювання; 1 – за напрацюванням; 2 – за станом

У цьому випадку гарантом забезпечення надійності двигуна є не ресурс, а контроль, діагностика і прогнозування відмов і несправностей. Цей метод дає можливість підтримувати інтенсивність відмов двигуна в польоті ( $\lambda_{\text{відм}}$ ) (див. рис. 7.1) у процесі експлуатації на невеликому постійному рівні.

## 7.2. Класифікація типових відмов і несправностей газотурбінних двигунів

Залежно від експлуатаційної технологічності і ремонтпридатності авіадвигунів, матеріально-технічної оснащеності авіапідприємств і кваліфікації їх персоналу відмови авіадвигунів в експлуатації ділять на такі три групи: що призводять до дострокового знімання двигунів; призводять до дострокового знімання агрегатів; відмови усуваються в умовах експлуатації.

Через спільність принципів, закладених у конструкцію всіх типів ГТД, виконуваних завдань і умов експлуатації для всіх

різновидів ГТД спостерігаються загальні типові відмови і несправності. Водночас кожен тип двигуна залежно від конструктивних особливостей, ступеня досконалості, умов експлуатації може мати свої характерні відмови і несправності. Розглянемо класифікацію типових відмов і несправностей, яку зазвичай виконують за такими ознаками:

- причина;
- місце виявлення;
- час виявлення.

Через такі причини:

- абразивний знос деталей проточної частини (ПЧ) під час експлуатації за наявності пилу;
- ерозійний знос при застосуванні некондиційного палива і експлуатації в атмосфері, насиченої солями;
- механічні пошкодження при попаданні сторонніх предметів;
- деформування та руйнування деталей через недосконалість конструкції і технології виробництва;
- знос сполучених деталей, унаслідок чого змінюється їх форма, розміри і маса;
- утомні руйнування та пошкодження;
- розрегулювання агрегатів і систем у результаті зносу, старіння, забруднення;
- порушення режимів роботи внаслідок неправильної експлуатації;
- низька термостабільність палива.

За місцем виявлення:

- елементи, які омиваються мастилом;
- камера згоряння (КЗ);
- компресор;
- турбіна;
- система регулювання і живлення паливом;
- система запуску;
- приводи агрегатів.

Зазначимо, що такий значний розкид пояснюється використанням під час аналізу безлічі типів двигунів різної конструкції і особливостями їх застосування.

За часом виявлення:

- раптові;
- поступові.

*Раптові відмови і несправності супроводжуються аварійною (несподіваною) зміною параметрів і ТС двигуна. Вони цілком очевидні і мають яскраво виражені ознаки – різкі зміни показань приладів, сторонні шуми, дим тощо.*

Основні причини раптових відмов:

- недоліки конструкції і технології виробництва;
- неякісний матеріал;
- неякісний контроль;
- потрапляння сторонніх предметів;
- грубе порушення норм льотної експлуатації та ТО.

Подібні відмови найчастіше виявляються на початковій стадії експлуатації, відтак двигун конструктивно доопрацьовується. За статистикою, на їх частку припадає до 30 % авіаційних подій і до 15 % дострокового зняття двигунів. Передбачити виникнення таких відмов важко, майже неможливо, адже неможливо проконтролювати ступінь пошкодження у часі.

*Поступові відмови і несправності супроводжуються поступовою зміною параметрів під впливом зовнішніх чинників і накопиченням пошкоджень у деталях (знос, утома).*

Їх основні причини:

- абразивний знос деталей;
- ерозійний знос деталей турбіни;
- витягування робочих лопаток (РЛ) компресора і турбіни;
- знос підшипників;
- утомні пошкодження;
- забруднення конструктивних вузлів ПЧ.

Зазначені ушкодження, поступово накопичуючись, досягають критичного стану, за якого відбувається відмова. Їх можна контролювати і, знаючи швидкість їх розвитку, можна передбачити критичний стан, тобто спрогнозувати очікувану відмову.

Однак у деяких випадках тенденція накопичення ушкоджень настільки слабка, що її важко виявити. За статистикою, 70 % таких відмов і несправностей призводять до авіаційних подій і 85 % -- до дострокового зняття двигуна.

Досвід експлуатації закордонних і вітчизняних ГТД свідчить, що типовими пошкодженнями та несправностями, які можуть призвести до авіаційної події, є:

– механічні пошкодження (втомлювальні тріщини, забоїни, вм'ятини, ерозія, корозія) та руйнування деталей ПЧ;

- експлуатаційні пошкодження та руйнування елементів конструкції підшипників опор роторів і приводів агрегатів;
- термічні пошкодження елементів конструкції КЗ, соплових апаратів (СА), дисків і РЛ першої ступені турбіни;
- знос контактних поверхонь сполучених частин деталей;
- закоксованість паливних форсунок;
- ерозійно-корозійне пошкодження поверхонь деталей;
- засмічення поверхонь конструктивних вузлів ПЧ.

### **7.3. Розподіл і характер пошкоджень елементів конструкції газотурбінного двигуна по системах та вузлах і причини їх виникнення**

#### **7.3.1. Компресор**

Характерними пошкодженнями компресора є механічні, втомлювальні, ерозійні, корозійні, зношені пошкодження робочих і статорних лопаток.

Основними причинами виникнення пошкоджень є:

- високий рівень динамічних навантажень;
- потрапляння сторонніх предметів у ПЧ двигуна під час його роботи (вплив води, пилу, крупних частинок, птахів);
- корозійний вплив;
- неякісне виготовлення лопаток, дисків (наявність кувальних тріщин, дефектів матеріалу, відхилення від заданих розмірів, високі залишкові напруження).

Високий рівень динамічних навантажень у поєднанні з дією концентраторів напружень при розрахункових навантаженнях і погіршенням фізико-механічних властивостей матеріалу здебільшого призводить до втомних пошкоджень та руйнування лопаток компресора і вентилятора.

Потрапляння у ПЧ двигуна стороннього предмета безумовно може призвести до виникнення забоїни, або обривання конструктивного елемента (наприклад, лопатки вентилятора, РЛ компресора, або лопатки напрямного апарата (НА)).

Експлуатація ПС в умовах підвищеного вмісту абразиву (пилу, піску) у повітрі призводить до збільшення площі міжлопатних каналів та радіальних зазорів, збільшення шорсткості конструктив-

них елементів ПЧ двигуна; також причиною збільшення шорсткості може бути наявна у повітрі сіль. На рис. 7.2 наведено результати візуально-оптичного контролю ПЧ ТРДД.

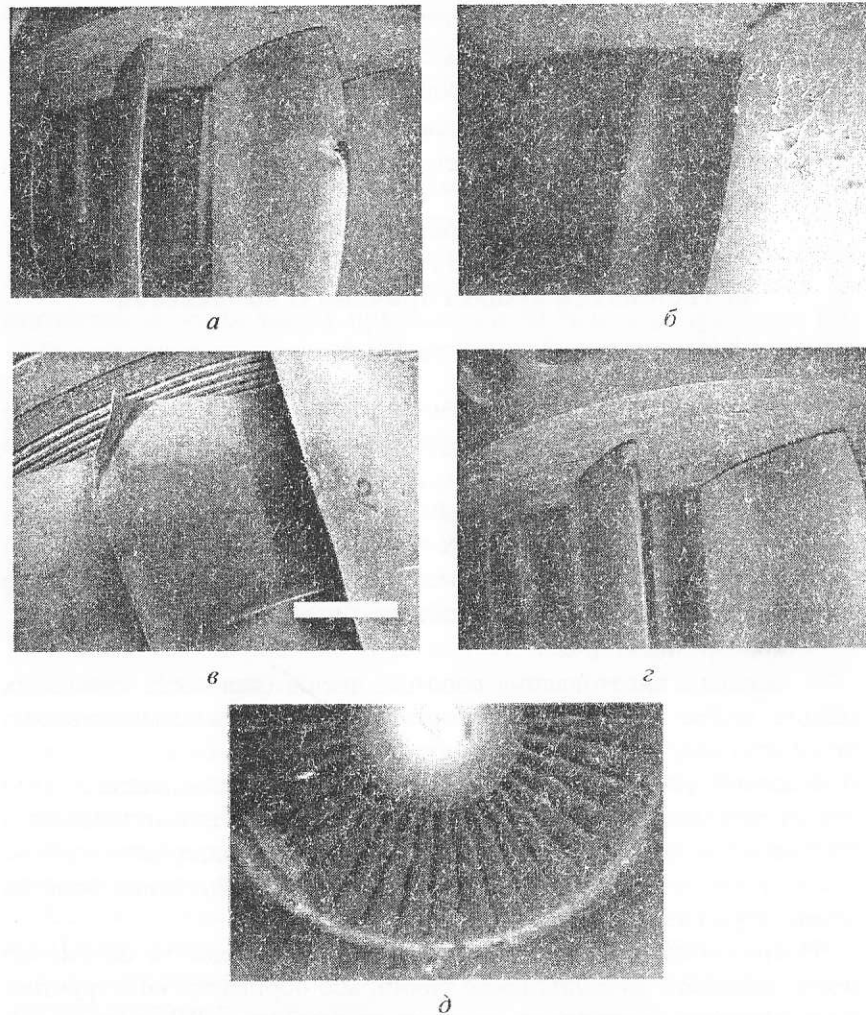


Рис. 7.2. Типові пошкодження конструктивних вузлів ПЧ двигуна:  
*a* – забоїна РЛ п'ятого ступеня компресора високого тиску (КВТ);  
*б* – відкладення солі на РЛ компресора середнього тиску;  
*в* – вигин лопатки вентилятора; *г* – забоїна РЛ четвертого ступеня КВТ;  
*д* – забоїни РЛ першого ступеня вентилятора

Одним із чинників, що сприяють пришвидшеному втомному руйнуванню лопаток під час експлуатації, є робота окремих елементів конструкції двигуна на нерозрахованих режимах: коливання бандажированих лопаток при зносі контактуючих поверхонь бандажних полиць понад допустимі межі; робота ГТД при нерозрахованому положенні лопаток поворотного НА через роз'єднання або руйнування кінематики керування (рис. 7.3).

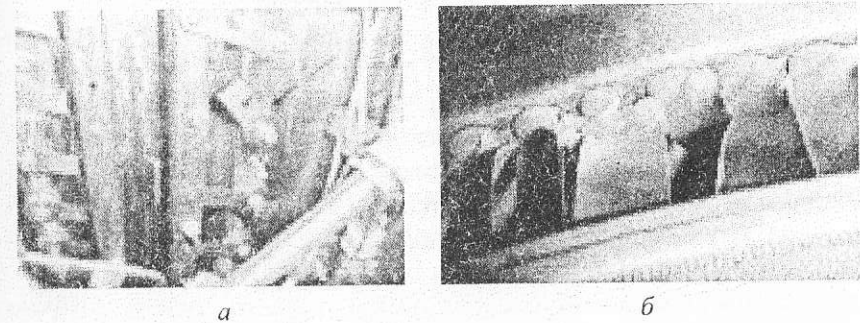


Рис. 7.3. Руйнування кінематики керування регульованої лопатки НА КВТ:  
*a* – вигляд ззовні; *б* – вигляд зсередини

Пошкодження елементів ПЧ компресора сторонніми частинками розміром менше ніж 0,4 мм в умовах роботи ГТД у запиленій місцевості належать до пошкоджень ерозійного характеру. Таке пошкодження є в експлуатації одним з найпоширеніших видів пошкоджень (рис. 7.4).

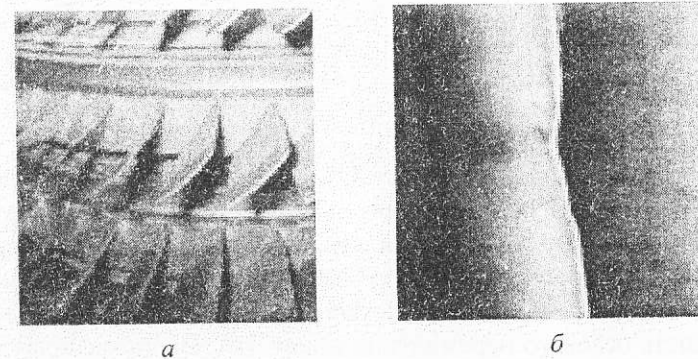


Рис. 7.4. Ерозія лопаток:  
*a* – КВТ; *б* – спрямний апарат вентилятора



Під час роботи ГТД в умовах підвищеної вологості, коли повітря насичене водою жорсткістю від 1,5 до 12,4 мг-екв/л, на робочих і статорних лопатках компресора, де температура повітря досягає температури випаровування води, а також на внутрішніх частинах КЗ, форсунках і елементах конструкції турбіни утворюються соляні відкладення (рис. 7.5). Збільшення об'єму води, що проходить через двигун, і її жорсткості призводить до стійкої тенденції погіршення газодинамічних параметрів двигуна.

До того ж, до характерних пошкоджень компресора ГТД на останніх серіях двигунів сімейства CFM56 (CFM56-5B і CFM56-7B) у процесі експлуатації виявлено характерне їм пошкодження, пов'язане із зачепленням ротора КВТ за елементи статорної частини. Потенційна область контакту розташовується в зонах між ободом переднього барабана-диска і бандажними сегментами лопаток НА другого ступеня. Така сама область розташовується між ободом диска і бандажними сегментами НА третього ступеня, а також між бандажними сегментами НА третього ступеня і ободом заднього барабана-диска четвертого ступеня (рис. 7.6).

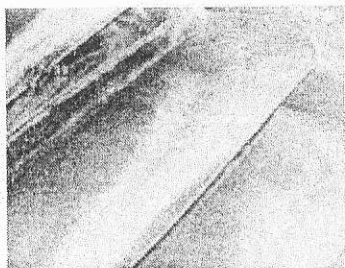


Рис. 7.5. Соляні відкладення на РЛ компресора

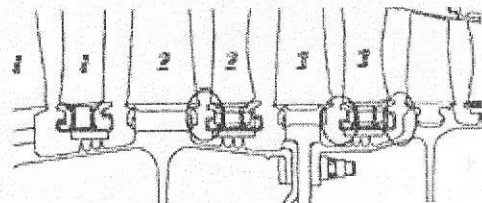


Рис. 7.6. Імовірні зони контакту «ротор-статор»

Причинами ймовірного контакту «ротор-статор» у цих зонах є відносно невеликі осеві зазори між обертальними і нерухомими частинами компресора, а також знос внутрішніх втулок поворотних лопаток НА другого і третього ступенів (рис. 7.7, а). Унаслідок зносу втулок поворотних лопаток другого і третього ступенів виникає можливість осевого переміщення всього НА. Водночас відбувається дотик бандажних сегментів до полок РЛ і півкільць стільникових ущільнень із виступом обода диска (рис. 7.7, б).



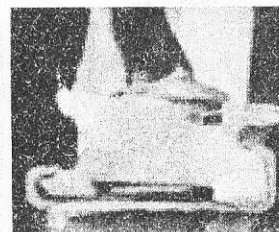
а



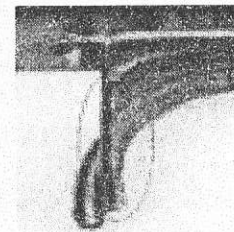
б

Рис. 7.7. Взаємодіючі елементи конструкції ПЧ двигуна

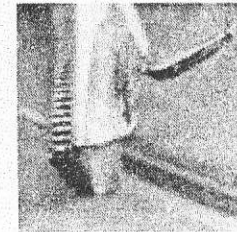
У результаті дотику при працюючому двигуні в зоні контакту відбувається взаємний знос деталей, що призводить до подальшого пошкодження стільникового ущільнення і надалі до руйнування його півкільць, які, потрапляючи в ПЧ двигуна, пошкоджують елементи конструкції наступних ступенів (рис. 7.8).



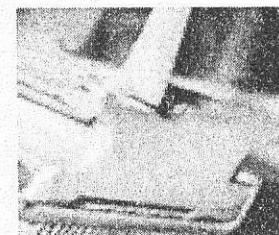
а



б



в



г



д

Рис. 7.8. Пошкодження елементів ПЧ компресора в результаті їх дотику при працюючому двигуні: а, б – надмірний знос або відсутність стільникового покриття повітряного ущільнення; в – механічне пошкодження загнутої кромки (в закордонній практиці називається «джей-хук») півкільця стільникового ущільнення; г – знос верхнього виступу бандажного сегмента і J-hook'а; д – пошкодження РЛ компресора внаслідок потрапляння зруйнованих елементів у ПЧ двигуна

Також за результатами оцінювання ТС конструктивних вузлів ПЧ спостерігаються випадки зсуву лопатки відносно вінця кріплення в осьовому та радіальному напрямках (рис. 7.9).

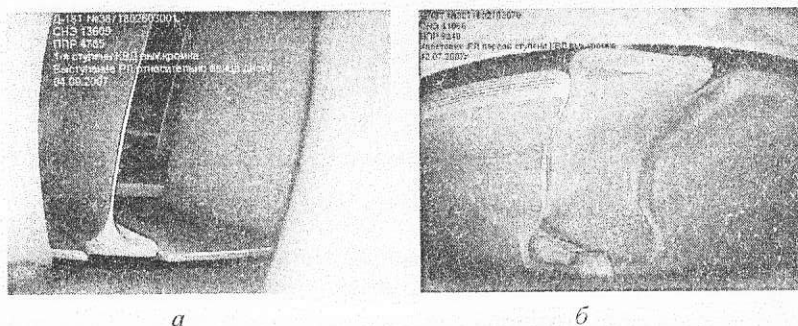


Рис. 7.9. Порушення кріплення РЛ КВТ:

*а* – виступ лопатки відносно вінця диска;

*б* – тріщина хвостовика лопатки з наступним виходом з вінця диска

Результати аналізу показали, що фізична природа виникнення пошкоджень, що призводять до відмов, неоднакова для різних вузлів двигуна. Як було зазначено вище, компресор зазвичай схильний до пошкоджень, викликаних попаданням стороннього предмета, абразивним та корозійно-ерозійним зносом, у той час як uszkodження КЗ і турбіни мають термовтомлювальний та зношений характер тощо.

### 7.3.2. Камера згоряння

Низька термостабільність палива може призвести до закоксованості паливних форсунок, а це, своєю чергою, до такого явища, як «факеління» полум'я і, як наслідок, до неоднорідності поля температур перед СА турбіни з наступним оплавленням, прогаром лопаток СА і робочих коліс (РК). Закоксованість форсунок і зміна площі отворів жарових труб КЗ для підведення вторинного потоку повітря призводять до збільшення неповноти згоряння палива, відкладення продуктів згоряння на лопатках СА, РК тощо. Ці чинники, а також прогари жарових труб (ЖТ) призводять до колової нерівномірності температури газу перед турбіною, в результаті чого знижується ККД турбіни і збуджуються коливання робочих лопаток при переході з «гарячої» зони до «холодної».

Типовими uszkodженнями КЗ є термічне і втомне походження. Основні причини пошкоджень: високий рівень температурних і вібраційних навантажень.

Утомні тріщини розташовуються в зонах зварних швів корпусу, фланців для відбирання повітря на різні потреби систем ПС, бобишек для кріплення агрегатів. Вони виникають від дії вібраційних навантажень при підвищених статичних навантаженнях (рис. 7.10). Підвищені статичні навантаження наводяться при монтажі і змінюють розрахунковий характер навантаження корпусів КЗ під час роботи двигуна.

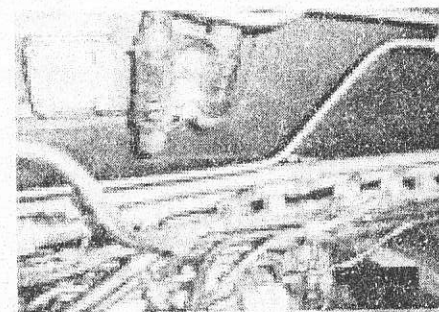


Рис. 7.10. Тріщина корпусу КЗ в осьовому напрямку

Порушення характеристик розпилювання форсунок унаслідок закопчення і коксування викликає місцеве перегрівання стінок КЗ і ЖТ. Це призводить до випучування, викривлення, розтріскування, підвищеного окиснення матеріалу стінки КЗ (рис. 7.11).

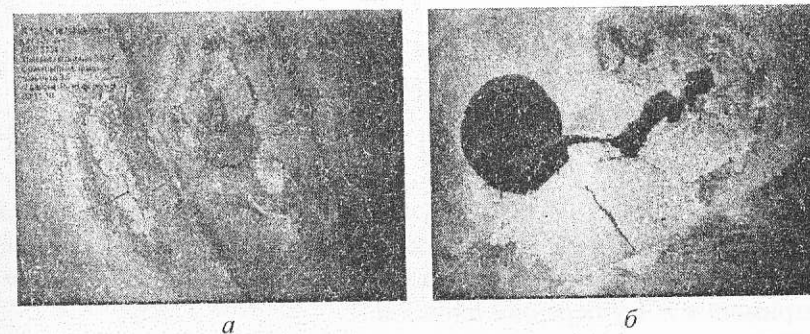


Рис. 7.11. Пошкодження КЗ:

*а* – тріщина козирка; *б* – тріщина внутрішньої стінки

Погіршення розпилювання палива форсунками через відкладення нагару або засмічення (рис. 7.12) є причиною значної нерівномірності температурного поля перед турбіною.

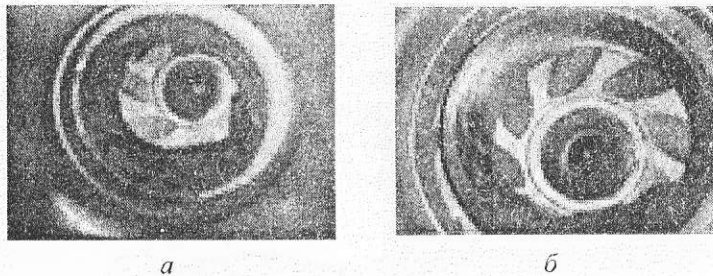


Рис. 7.12. Відкладення нагару на дифузорах форсунок КЗ

Через свої конструктивні особливості ЖТ, наприклад двигуни сімейства CFM56 у процесі експлуатації піддаються таким характерним пошкодженням, як прогар і часткова втрата матеріалу дефлектора фронтального пристрою КЗ (рис. 7.13).

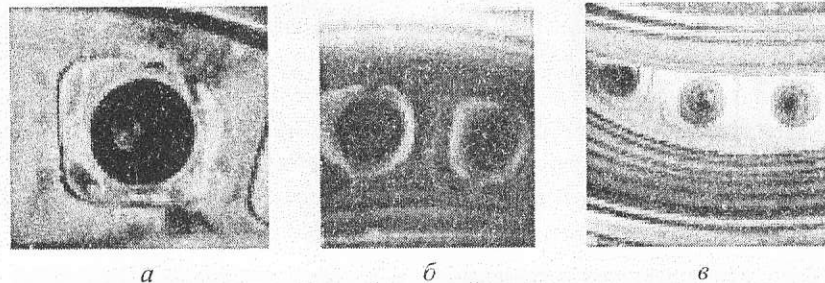


Рис. 7.13. Стан дефлекторів фронтальних пристроїв КЗ:

*a* – стан дефлектора, схильного до газової ерозії;  
*б* – обгоряння та втрата кромки дефлектора; *в* – початковий стан дефлекторів фронтального пристрою КЗ (новий виріб)

У випадку потрапляння в ПЧ двигуна птахів чи інших сторонніх предметів вимогами ТО двигуна встановлена необхідність перевірки розміщення ЖТ на паливних форсунках, які забезпечують підтримання ЖТ у передній площині.

Водночас у результаті ударної дії сторонніх предметів з ЖТ можливо її зміщення, що так само недопустимо, оскільки це

приведе до роботи КЗ у нерозрахованому режимі, що загалом несприятливо позначається на її ресурсі.

Відповідно до програми ТО через певну кількість годин напруження або скоєних циклів здійснюють періодичний візуальний огляд і оцінювання внутрішнього ТС КЗ. Порівняно з отриманими в ході огляду даними з необхідними допусками, які прописані у відповідних по вузлах розділах Керівництва з ТО, приймається рішення про його наступну експлуатацію або проведення належного ремонту.

### 7.3.3. Турбіна

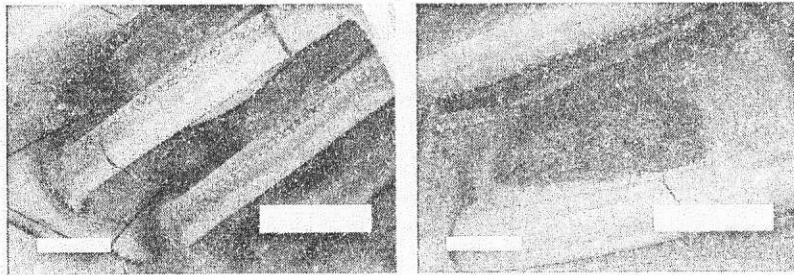
Робочі лопатки турбіни сучасних ГТД працюють в умовах складного навантаження: спільної дії статичних, термоциклічних і динамічних навантажень. Це сприяє появі в матеріалі великих областей, охоплених циклічними пластичними деформаціями, у яких вихідні деформаційні і міцнісні властивості матеріалу зазнають значних змін. Цим здебільшого пояснюються ушкодження, що переходять у тріщини та руйнування коліс і лопаток турбіни.

Основними причинами пошкоджень є: високий рівень температурних і вібраційних, ізотермічних і неізотермічних, а також динамічних навантажень; тривалі статичні навантаження.

Під впливом підвищених термічних напружень і підвищених температур, порівняно з номінальними значеннями, у певних умовах виникають такі термічні ушкодження: перегрівання матеріалу елементів конструкції; обгоряння пера лопатки; витягування РЛ турбіни; тріщини повзучості; підвищений ступінь окиснення; розтріскування і прогар кромки лопаток (рис. 7.14–7.18).



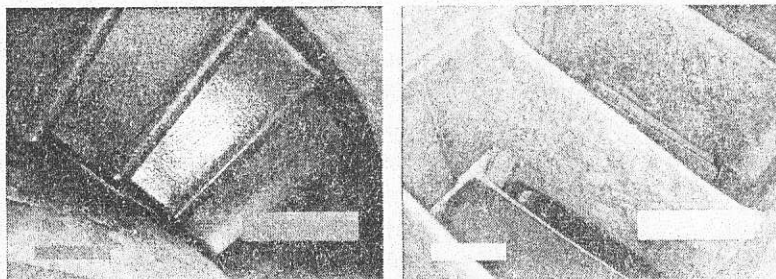
Рис. 7.14. Характерні пошкодження турбіни високого тиску (ТВТ):  
*a* – тріщина лопатки СА; *б* – тріщина та випинання лопатки СА



*a*

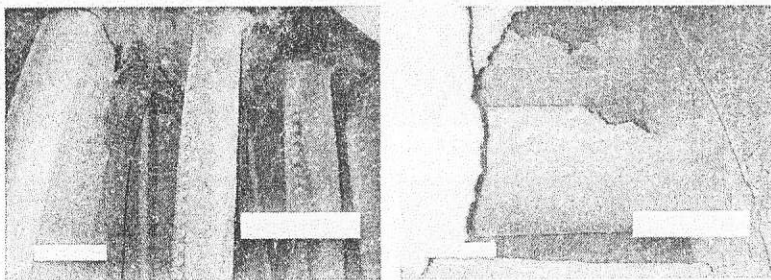
*б*

Рис. 7.15. Характерні пошкодження ТВТ:  
*a* – засмічення отворів охолодження та тріщини лопатки СА;  
*б* – тріщина та деформування лопатки унаслідок її випинання



*a*

*б*



*в*

*г*

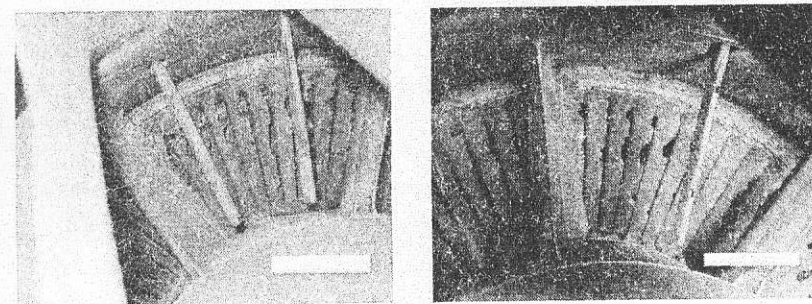
Рис. 7.16. Характерні пошкодження ТВТ:  
*a* – засмічення отворів охолодження та тріщина лопатки СА;  
*б* – ерозійно-корозійний знос лопатки;  
*в* – розшарування та короблення (деформування) лопатки;  
*г* – прогар та втрата задньої кромки лопатки



*a*

*б*

Рис. 7.17. Характерні пошкодження ТВТ:  
*a, б* – тріщина та випинання лопатки СА відповідно



*a*

*б*

Рис. 7.18. Характерні пошкодження ТВТ:  
*a, б* – обгорання та втрата задньої кромки лопаток РК відповідно

Пошкодження від дії вібраційних навантажень трапляються на всіх типах ГТД, що експлуатуються в різних країнах світу.

Ці ушкодження пов'язані з підвищеним рівнем змінних напружень, що виникають у деталях при їх коливаннях, з якістю виготовлення і режимом навантаження. Режим навантаження впливає як на межу втоми, так і на термоциклічну довговічність.

Ізотермічні і неізотермічні режими навантаження істотно впливають на виникнення пошкоджень малоциклової втоми. Малоциклові неізотермічні навантаження деталей гарячої частини ГТД характеризуються істотною нестаціонарністю. Ця нестаціонарність виявляється в зміні навантаження (діапазону значень напружень або деформацій), різниці температур, тривалості циклу і розвиваються у деформаціях повзучості.

Під дією підвищених динамічних навантажень за наявності концентраторів напружень, погіршення фізико-механічних властивостей матеріалу і температурного стану виникають втомні пошкодження РЛ турбіни і лопаток СА (рис. 7.19, б). Унаслідок такого впливу виникають втомні тріщини в пазах замкової частини лопаток. Під час експлуатації за певних умов можливе розтріскування захисного покриття і створення умов для пришвидшення корозії (рис. 7.19, а).

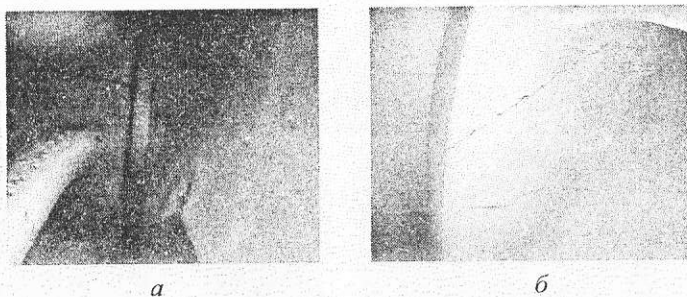


Рис. 7.19. Пошкодження лопаток СА ТВТ двигуна CFM56-5B:  
а – руйнування захисного покриття;  
б – втомні тріщини на внутрішній бандажній полиці

Під дією тривалих статичних навантажень у поєднанні з підвищеними температурами накопичується деформація гарячих статично навантажених елементів авіадвигунів, за якими можна судити про вироблення ресурсу

У процесі експлуатації відбувається взаємопов'язана зміна стану поверхонь як окремих вузлів, так і компресора, КЗ, турбіни, тобто йдеться про спільне пошкодження вузлів, на частку яких припадає до 20 % дострокових зніманих ГТД від загальної кількості знімання двигунів. Таким чином, у результаті проведеного аналізу характерних пошкоджень ПЧ ТРДД встановлено:

- кількість відмов ГТД через пошкодження ПЧ становить від 35 до 60 % залежно від індивідуальних особливостей конкретного типу ГТД і умов експлуатації;
- понад 10 % пошкоджень елементів ПЧ ГТД призводить до відмови двигуна в польоті, що суттєво впливає на БП;
- пошкодження ПЧ двигунів можуть мати спільний характер;
- випадки виникнення тієї чи іншої комбінації спільно пошкоджених як між окремими вузлами, так і в самих вузлах.

Проаналізувавши результати контролю стану конструктивних вузлів ПЧ зазначених ТРДД з використанням візуально-оптичного комплексу *Olympus*, можна зробити висновок про те, що порушення таких геометричних характеристик, як: площа лопаток, площа міжлопаткових каналів, а також шорсткість, безпосередньо впливають на такі параметри робочого процесу, як: тиск, температура, а отже, на газодинамічний процес загалом.

#### 7.3.4. Підшипники роторів опор газогенератора

Усі пошкодження і руйнування підшипників, що відбуваються в умовах експлуатації, можуть бути умовно розділені на такі групи:

- руйнування від втоми матеріалу;
- пошкодження від підвищеного зносу;
- руйнування, викликані зміною зазорів і посадок між деталями підшипників і опорами ротора;
- пошкодження з наступним руйнуванням через недостатність мастила при запуску, через короткочасне або повне припинення подавання мастила під час роботи двигуна.

Утомне руйнування підшипників кочення виявляється у вигляді ямок або вифарбування матеріалу доріжок кілець і тіл кочення, у процесі експлуатації це відбувається через надмірне збільшення навантажень на підшипник або застосування матеріалу з дефектами і порушення технології виготовлення.

Зростання навантажень на підшипник є наслідком збільшення невідношеності ротора, порушення вимог технічних умов при монтажі підшипників на заводі-виробнику або під час ремонту.

Знос деталей підшипників вище допустимого, особливо тіл кочення і поверхонь кілець, призводить до збільшення радіальних зазорів в підшипнику і до зміщення ротора на величину, що перевищує значення, передбачене технічними умовами.

Надмірний знос тіл кочення викликає пошкодження інших деталей, які омиваються мастилом. Через тертя зовнішнього кільця об напрямні борту при розходженні сепаратора під дією відцентрових сил відбувається знос останнього.

Пошкодження підшипників кочення від прослизування відбувається в режимі роботи підшипника з підвищеним, зазвичай

радіальним, зазором, коли дія певних невеликих навантажень призводить до відносного прослизування поверхонь кочення. Прослизування частіше виявляється в роликотідшипниках опор ротора турбіни двигунів, рідше – у шарикотідшипниках.

Основними причинами прослизування роликотідшипника в процесі експлуатації ГТД є:

- зниження навантаження на підшипник і зміна співвідношення сил опору при зміщенні опор ротора;
- збільшення радіального зазору від перепаду температур зовнішнього і внутрішнього кілець і в результаті зносу підшипника;
- зменшення числа роликів під навантаженням і погіршення умов входу в зону контакту при збільшенні радіального зазору.

Пошкодження підшипників при мастильному голодуванні виникають у разі зниження тиску в МС до величини нижче необхідної. Це призводить до порушення балансу підведення і відведення тепла і, як наслідок, до непропорційного розширення елементів конструкції підшипника, виникнення нерозрахованих умов роботи, що сприяють їх руйнуванню.

Під час експлуатації низки типів ТРДД закордонного виробництва через їх конструктивні особливості виникали проблеми, пов'язані з надмірним зносом четвертої опори, на яку спирається вал ТВТ. Роликотідшипник четвертої опори є міжвальним і спирається на вал ТНТ.

Через труднощі в ідентифікації умов реального навантаження міжвальних підшипників забезпечення їх працездатності є досить складним технічним завданням. Незважаючи на те, що в цих двигунах таке завдання було вирішене, під час експлуатації виходив з ладу міжвальний підшипник четвертої опори.

Пошкодження полягало в надмірному зношенні зовнішнього кільця роликотідшипника, що призводило до збільшення діючих на нього нерозрахованих навантажень і тим самим до зниження його надійності.

У зв'язку з цим розробником цього двигуна було виготовлено та розповсюджено низку бюлетенів, які рекомендували в разі наступного надходження двигуна в ремонт замінити роликотідшипник, виготовлений з низьковуглецевої легованої сталі з вмістом нікелю, на роликотідшипник із глибокоазотованої сталі.

### 7.3.5. Деталі приводів

Основними пошкодженнями деталей приводів є нерівномірне або підвищене зношування, вифарбовування або відшаровування матеріалу поверхні контакту, локальне перегрівання, потрапляння стружки або інших твердих частинок у канали або на поверхні, що труться. Вифарбовування матеріалу поверхонь контакту відбувається в результаті дії високих контактних напруг у тонкому поверхневому шарі зубів, що призводять до підшарового руйнування (рис. 7.20). Як вифарбовування, так і відшаровування мають утомний характер.

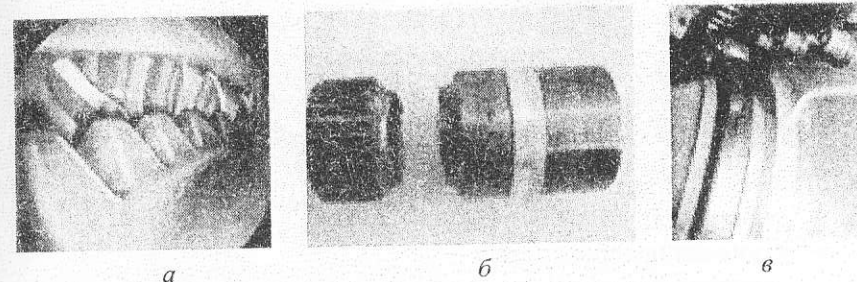


Рис. 7.20. Пошкодження деталей приводів:  
а – незначний знос шестерень центрального приводу;  
б – руйнування зрізної муфти між повітряним стартером і коробкою приводів агрегатів; в – тріщина на коробці приводів агрегатів у місці фланця приводу агрегату

### 7.3.6. Трубопроводи

Трубопроводи паливної, мастильної і дренажної систем схильні до пошкоджень на кшталт надрізів, вм'ятин, місцевого зносу. Внаслідок установлення з порушенням технічних умов можливо скручування, місцевий знос, тріщини від вібрацій.

Тріщини поблизу наконечників трубопроводів найчастіше поширюються по зварному шву або в зоні теплового впливу. Причиною виникнення тріщин може бути корозія або втома при високочастотному навантаженні (рис. 7.21).

Наведені випадки виникнення пошкоджень елементів конструкції ГТД, що виникають у процесі тривалої експлуатації, можуть призвести насамперед до погіршення витратних характеристик та

колової нерівномірності температурного поля перед турбіною, що спричинить збільшення примусових коливань ротора, вібрації та зниження ККД турбіни, збільшення температури газів за турбіною, зменшення сумарного ступеня підвищення тиску.

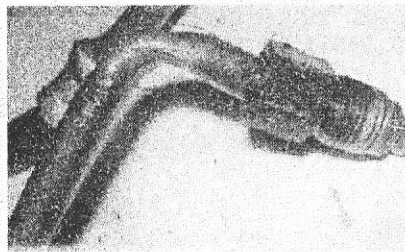


Рис. 7.21. Поздовжня тріщина в трубопроводі

#### 7.4. Технічне обслуговування газотурбінних двигунів

При ТО ГТД виконують такі роботи:

- дефектація;
- усунення несправностей;
- перевірні роботи;
- регульовальні роботи;
- профілактичні роботи.

При цьому слід бути обережними щодо попадання сторонніх предметів усередину відкритих порожнин.

До таких заходів належать:

- установлення заглушок на вході і виході;
- установлення різьбових або ковпачкових заглушок і пробок на відкриті кінці трубопроводів та агрегатів;
- застосування сертифікованого інструменту в спеціальних сортовиках;
- робота в спеціалізованому одязі, який унеможливує попадання сторонніх предметів всередину двигуна;
- зняті деталі та інструмент слід укладати не на поверхню двигуна і мотогондоли, а на спеціальні стелажі та підставки.

##### 7.4.1. Технічне обслуговування компресора

*Типові відмови і несправності, їх причини та наслідки.*

1. Забоїни, вм'ятини й тріщини від попадання сторонніх предметів, що призводять до руйнування. Найчастіше такими предме-

тами є каміння і великі частки з ЗПС, шматки льоду при обмерзанні повітрязбірників і лопаток вхідного НА, птахи, град. Особливо небезпечно обмерзання, що призводить до збільшення вхідних втрат, зменшення потужності, підвищення температури газів, погіршення економічності, помпажу, збільшення вібрацій, появи вибоїв. Для запобігання потрапляння сторонніх предметів встановлюють заглушки і дотримуються чистоти стоянок і рульових доріжок.

2. Тріщини втомного характеру внаслідок підвищених статичних і вібраційних навантажень, що призводять до руйнування. Причиною підвищеної вібрації може бути помпаж.

Експлуатаційні причини помпажу:

- завчасне увімкнення стартера при запуску;
- недостатня енергія джерела живлення;
- запуск при сильному боковому вітрі;
- відмова агрегатів керування перепусканням повітря або пово-

ротом лопаток вхідного НА;

- потрапляння сторонніх предметів;
- підвищений знос лопаток;
- робота на режимах, близьких до межі помпажу;
- потрапляння в турбулентний потік.

3. Абразивний знос лопаток. Через цю причину в ремонт потрапляють понад 30 % двигунів. Головна причина – робота в умовах запилених аеродромів. Робочі лопатки зношуються більше, ніж соплові, периферія – більше, ніж центр, вхідні кромки – більше, ніж вихідні.

4. Спрацювання кілець ущільнювачів, що забезпечують зазор над робочими лопатками під час роботи в запилених умовах. Це призводить до зменшення ступеня підвищення тиску в компресорі, зростання питомої витрати палива, збільшення температури газів, зменшення потужності двигуна, зниження газодинамічної стійкості.

Тому на вертольотах встановлюють пилозахисні пристрої, які, однак, не зовсім вигідні тому, що зменшують потужність і збільшують питому витрату палива. Звідси також впливає важливе завдання – своєчасне виявлення абразивного зносу.

5. Відкладення пилу, бруду і солей на лопатках, що призводить до зниження ККД, підвищує вібрацію, сприяє помпажу. Технічне обслуговування полягає в дефектації та усуненні несправностей. На забоїни і вм'ятини на лопатках є допуски.

Методи і засоби контролю та діагностики:

1. Оптичні засоби – контроль вм'ятин, забоїв, тріщин.
2. Методи неруйнівного контролю (струмовихвовий, ультразвуковий, кольорових фарб) для виявлення тріщин.
3. Замірювання зносу лопаток по куту повороту штанги між хвостовиками двох лопаток (рис. 7.22).

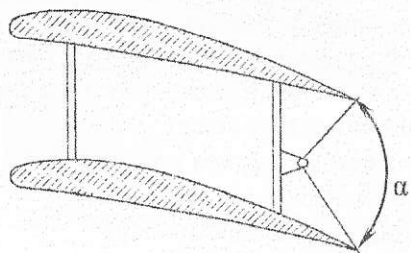


Рис. 7.22. Принцип вимірювання зносу лопаток за допомогою поворотної штанги

4. Контроль зносу за допомогою «свідка зносу». Це порожниста бобишка із заданою товщиною стінки, яка поступово виходить із ладу разом з лопатками. При появі отвору в бобишках виникає сигнал про недопустимий знос.
5. Для контролю вібрації і появи тріщин застосовують метод, заснований на властивості розмагнічування намагніченої лопатки при її пошкодженні. З цією ж метою використовують методи вихрових струмів і акустичної емісії.

#### 7.4.2. Технічне обслуговування камери згоряння

На КЗ впливають газові сили тиску, вібрації, інерційні сили, висока температура, нерівномірне нагрівання.

*Типові відмови і несправності, їх причини та наслідки.*

Перша група: тріщини, викривлення, прогари ЖТ і корпусу, дефекти клепаних швів, що призводять до руйнування. Цьому сприяють:

- неякісне паливо;
- робота на форсованих режимах;
- засмічення паливних форсунок;
- обгоряння паливних форсунок;
- зміщення форсунок;
- помпаж, обертальний зрив.

Друга група: зрив полум'я і припинення горіння, що призводять до самовимикання двигуна. Цьому сприяють:

- помпаж, обертальний зрив;
- падіння тиску палива;
- потрапляння сторонніх предметів;
- зменшення режиму роботи на великій висоті.

*Методи і засоби контролю та діагностування:*

- візуальний огляд корпусу КЗ;
- огляд за допомогою оптичних засобів;
- рентгенівський;
- газовий аналіз продуктів згоряння;
- контроль газодинамічних параметрів.

Оцінювання коксування форсунок виконують двома способами:

1-й спосіб: перевіряється зазор між внутрішньою стінкою корпусу форсунки і зовнішньою поверхнею корпусу розпилювача. Цей зазор зменшується в міру наростання нагару. На мінімальну величину зазору є допуск.

2-й спосіб: температура вихідних газів на ГТД дається як середня по чотирьох термopарах. За інструкцією через певну кількість годин напрацювання проводиться оцінювання рівномірності температурного поля.

Різниця середніх температур по чотирьох і за трьома термopарами і дає ступінь нерівномірності теплового поля, який повинен бути в допустимих межах. Різка нерівномірність теплового поля свідчить про закоксованість форсунок, розташованих у зоні тієї термopари, яка дає показання зі зменшеною температурою.

#### 7.4.3. Технічне обслуговування турбіни

Найбільш навантажений вузол ГТД – це турбіна.

*Типові відмови і несправності, їх причини та наслідки.*

Перша група: тріщини робочих лопаток і дисків від термічної утоми, що призводять до їх обривання і руйнування. Цьому сприяють:

- підвищена вібрація;
- велика кількість запусків і несталих режимів;
- запуск або вихід на режим без прогрівання;
- зупинка двигуна без охолодження;
- потрапляння сторонніх предметів.



Найчастіше тріщини від термічної втоми зароджуються в замку, на вхідних і вихідних крайках лопаток.

Друга група: оплавлення і викривлення соплових і робочих лопаток, що призводять до тріщин і наступного обривання і руйнування. Цьому сприяють:

- нерівномірність температурного поля;
- перевищення температури газів під час запуску;
- підвищена температура газів через несправність паливо-регулювальної апаратури (ПРА);
- некондиційне паливо;
- тривала робота на нерозрахункових режимах (форсований і малий газ (МГ)).

Третя група: витягування РЛ, яке веде до зменшення радіальних зазорів, заїдання лопаток і, як наслідок, до зростання температури, зриву полум'я, зупинки двигуна. Цьому сприяють:

- тривала робота на нерозрахункових режимах;
- перевищення температури газів за несправності ПРА;
- перевищення температури газів під час запуску.

Четверта група: ерозійні і корозійні пошкодження лопаток і дисків, що призводить до тріщин і руйнування. Цьому сприяють:

- робота на заповнених аеродромах;
- насичення повітря морськими солями;
- некондиційне паливо.

Ознаки пошкодження вузлів турбіни: хлопки, пучки іскор з реактивного сопла, шлейф сизого диму, падіння оборотів, зростання температури газів за турбіною.

Про стан усієї турбіни можна судити за станом останнього ступеня, доступ до якої можливий і яка може бути продефектована візуально або за допомогою методів неруйнівного контролю.

*Методи і засоби контролю та діагностування:*

- оптичний – виявляються тріщини, оплавлення, корозія;
- пірометри – контроль температури;
- віброакустичний, струмовихровий, ультразвуковий – контроль тріщин;
- механічний – контроль витягування лопаток за допомогою спеціальних площинних щупів;

- лазерний і ємнісний – контроль витягування лопаток і вібрації;
- зонди для реєстрації заряджених частинок – контроль оплавлення лопаток.

#### **7.4.4. Технічне обслуговування деталей, що омиваються мастилом**

*Типові відмови і несправності, їх причини та наслідки:*

- руйнування опор ротора;
- руйнування приводів агрегатів;
- руйнування зубчастих передач редукторів.

*Причинами є:*

- мастильне «голодування» через відкладення коксу в форсункових отворах підведення мастила до опор. Це відбувається, коли зупиняють гарячий двигун без охолодження, в результаті чого мастило не циркулює і коксується в форсункових отворах;
- перехід після запуску на підвищений режим без прогрівання двигуна, що призводить до збільшення тертя через підвищення в'язкості мастила і через зменшення зазорів у підшипниках.

*Ознаки руйнування зазначених елементів – поява металевих частинок на фільтрах або спрацьовування термостружкосигналізаторів.*

#### **7.4.5. Технічне обслуговування мастильних систем газотурбінних двигунів**

Мастильна система (МС) повинна забезпечувати постійне подавання мастила до поверхонь, що працюють в умовах тертя для зменшення тертя і відведення тепла. Крім того, за допомогою МС виносяться продукти зносу двигуна. У ТГвД МС одночасно використовується в системі вимірювача крутного моменту і для керування ПГ.

*Характерні відмови і несправності, їх причини, наслідки і ознаки.*

1. Падіння тиску мастила до нуля. Наслідок: мастильне «голодування» підшипників і зубчастих передач. Причини: руйнування насосів відкачування або їх приводів.

2. Знижений тиск мастила. Причини: порушення регулювання редуційного клапана; несправності редуційного клапана (зависання, поломка пружини, потрапляння твердих частинок).

3. Підвищений тиск мастила. Причини: перезатягування пружини редуційного клапана, заклинювання його в зачиненому положенні, засмічення фільтрів, засмічення форсункових отворів для змащування підшипників і зубчастих зчеплень.

4. Зростання температури мастила вище допустимої норми. Причини: забруднення поверхні охолодження повітряно-мастильного радіатора, погіршення обдування радіатора на землі (боковий вітер), відмова терморегулятора, потрапляння гарячих газів у мастильну порожнину двигуна (знос ущільнень), недостатнє заправлення мастилом.

5. Підвищена витрата мастила (зниження рівня мастила в баці). Причини: знос і втрата пружності ущільнень, унаслідок чого мастило потрапляє в ПЧ; руйнування трубопроводів; негерметичність з'єднань трубопроводів і агрегатів, кришок заливних горловин баків або мастильних фільтрів; викидання мастила через несправну систему суфлювання.

6. Підвищення рівня мастила в баці внаслідок попадання в нього палива. Причини: негерметичність паливно-мастильного радіатора і мастильних порожнин ПРА.

7. Забруднення і старіння мастила.

*Ознаки зазначених відмов і несправностей:*

- підвищення температури мастила і газів;
- металева стружка на фільтрах, магнітних пробках і термостружкосигналізаторах;
- підвищена вібрація;
- потемніння мастила внаслідок забруднення;
- підвищення або зниження рівня мастила в баці;
- дим у системі вентиляції і наддування.

*Основні роботи при ТО МС:*

1. Перевірка герметичності з'єднань візуально по слідах підтікання.

2. Перевірка стану і надійності кріплення агрегатів (бак, радіатор, трубопроводи), наявності зазорів між агрегатами і трубопроводами: можливі тріщини, вм'ятини, деформації, потертості, ослаблення кріплення, пошкодження металізації і контрування, дотик трубопроводів.

3. Перевірка роботи регуляторів температури і механізмів керування заслінками (стоять перед повітряно-мастильним радіатором).

4. Контроль рівня мастила в баці і його дозаправлення.

5. Заміна мастила в системі за відпрацювання ресурсу або при поганій його якості.

6. Контроль якості мастила.

7. Перевірка чистоти дренажних трубопроводів.

8. Промивання баків і мастильних радіаторів.

9. Перевірка відкладення коксу в форсунках і отворах опор шляхом вимірювання продуктивності форсунок.

10. Перевірка і промивання мастильного фільтра. Промивання фільтрів грубого очищення розчинником (бензин, гас, креолін) за допомогою м'якої кисті, а тонкого очищення – на ультразвуковій установці. Перевірка чистоти за допомогою ПКФ.

Після заміни агрегатів або трубопроводів МС випробовують на герметичність.

#### *7.4.6. Технічне обслуговування двигунів модульної конструкції*

Певні переваги при ТО мають модульні двигуни, у яких висока контролепридатність, доступність, взаємозамінність. Конструкцію такого двигуна можна розглядати не як єдиний агрегат, а як послідовність окремих агрегатів зі своїм паспортом і індивідуальною відомістю напрацювання.

При їх ТО і ремонті не потрібно знімати і розбирати весь двигун. Знімається тільки той модуль, де виявлена несправність, відтак не потрібно тестувати модулі, які залишаються. Контролепридатність окремих модулів забезпечується наявністю великої кількості технологічних люків, які забезпечують доступ засобів контролю, а також наявністю вбудованих засобів діагностування.

#### **7.5. Заміна авіаційних двигунів**

Заміна двигунів – одна з найскладніших і трудомістких робіт. Проводиться при відпрацюванні ресурсу, у разі переставлення двигуна на інше ПС, при появі несправностей, які не можна усунути під час експлуатації.

Процес заміни передбачає такі технологічні операції:

- дефектація, очищення і промивання систем;

- консервація і розконсервація двигуна;
- демонтажно-монтажні роботи;
- регулювальні роботи;
- перевірні роботи.

Замінювання АД виконують досить часто, тому важливо, щоб двигун мав високу експлуатаційну технологічність, тобто пристосованість до замінювання.

*Вимоги експлуатаційної технологічності:*

- можливість одночасної заміни двигуна і встановлених на ньому агрегатів без попереднього їх демонтажу;
- наявність швидкороз'ємних і самоцентрувальних з'єднань систем;
- розташування роз'ємів з'єднань систем в одній площині;
- уніфікація силових установок, тобто можливість установлення будь-якого двигуна на будь-яке літакове гніздо;
- зручний доступ до такелажних вузлів;
- можливість завчасного монтажу агрегатів на двигун на спеціальному стенді, а не на літаку;
- можливість консервації і розконсервації поза літаком на стенді.

Для швидкої заміни на великих базах ТО створюють спеціальні ділянки, обладнані такелажними пристроями, мийними агрегатами, водо-, електроповітряними комунікаціями, стендами монтажу.

Важливо запобігти потраплянню сторонніх предметів у внутрішні порожнини, для чого виконують таке:

- ставлять заглушки на вхідних і вихідних каналах;
- ставлять різьбові або ковпачкові заглушки на відкритих кінцях трубопроводів і агрегатів;
- інструмент розміщують у сортивнику у своєму гнізді;
- роботу виконують у спеціальному одязі з кишнями для інструменту і дрібних деталей;
- не залишають інструмент і деталі на поверхні, а кладуть на стелажі і підставки.

Після заміни двигуна проводять регулювання системи керування двигуном і перевіряють його роботу.

## 7.6. Консервація і розконсервація двигунів

Консервацію здійснюють після зняття двигуна з літака і без зняття, якщо літак перебуває на тривалій стоянці (більше одного місяця).

Виконується зовнішня і внутрішня консервація.

Мета консервації – захистити від корозії.

*Порядок зовнішньої консервації:*

- очищення поверхні від пилу, бруду, плям ПММ, кислот, лугів;
- установлення заглушок на відкриті отвори;
- змащування незахищених поверхонь покриттям технічним вазеліном або нейтральним мастилом К-17 («гарматне»);
- покриття поліетиленовою плівкою;
- установлення в контейнер.

*Завдання внутрішньої консервації:*

Заповнення свіжим мастилом мастильної і паливної систем двигуна. Якщо після перевірки мастило в мастильній системі чисте, то його не замінюють, якщо брудне – зливають і заливають свіже мастило тієї самої марки.

Заповнення паливної системи мастилом МК-8 (малої в'язкості) проводять за допомогою або мастильного заправника, або спеціальної установки, що подає мастило з мастильного бака під тиском 1–2 кг/см<sup>2</sup>. Шланги від них під'єднуються до спеціальних штуцерів паливної системи двигуна за пожежним (перекривним) краном паливної системи.

Консервацію виконують шляхом декількох помилкових запусків із закритим пожежним краном і установкою, що створює тиск. Мастило витісняє паливо, заповнює агрегати та трубопроводи і покриває тонким шаром внутрішні поверхні ПЧ.

Деякі агрегати системи в процесі помилкового запуску не спрацьовують і тому не заповнюються мастилом (насос-регулятор, обмежувач оборотів, система перепускання повітря, система повороту лопаток вхідного НА). Тому з них зливають паливо і окремо заповнюють порожнини мастилом під тиском від мастильного заправника або установки.

Розконсервацію виконують шляхом помилкових запусків, але з відкритим пожежним краном і без подавання мастила. Паливо витісняє мастило і змиває мастильну плівку на ПЧ двигуна.

Для повного витіснення мастила з ПЧ здійснюють продування шляхом «холодного прокручування». Відпрацьоване мастило і паливо потрапляють у спеціальні збірники за вихідним соплом.

### 7.7. Способи відновлення характеристик газотурбінного двигуна

За тривалої експлуатації внаслідок процесів зносу, втоми, старіння, забруднення відбуваються зміна форм і розмірів деталей ПЧ, розрегулювання систем автоматики і живлення паливом, що призводить до погіршення характеристик ГТД (тяга, температура, витрата палива, ступінь стиснення  $\pi^*$ , ККД тощо).

Під час експлуатації відновлення характеристик ГТД здійснюється такими способами:

1. Регулювання агрегатів і систем (наприклад, часової витрати палива).

2. Заміна окремих модулів, агрегатів і вузлів.

3. Промивання проточної частини ГТД.

Промивання здійснюють на режимі «холодного прокручування» двигуна, що дозволяє на 1,5–2,0 % збільшити тягу (потужність) двигуна і до 2 % зменшити питому витрату палива.

Установка для промивання ПЧ містить:

- форсуночне кільце для подавання мийного розчину;
- балони зі стисненим повітрям і ємності з мийною рідиною;
- форсунки, вентилі, редуктори, манометри, фільтри, клапани, розподільники, змішувачі;
- збірник використаного мийного розчину.

Оптимальна періодичність промивання – 300 год.

У процесі промивання відбуваються фізичні явища:

- удари крапель об поверхню і вибивання забруднення;
- хімічний вплив розчину (роз'їдання);
- адгезійний натяг рідини навколо частинок і їх винесення.

Мийний розчин повинен відповідати таким вимогам:

- ефективність промивання;
- зручність застосування;
- відсутність корозійного впливу.

Ці вимоги саме і задовольняє 2 %-й розчин мийного засобу «Аэрол». Ефективність його збільшується намагнічуванням.

### Запитання та завдання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте вплив науково-технічного прогресу в авіадвигунобудуванні на проблему вдосконалення методів ТО ГТД.
2. Наведіть класифікацію відмов і несправностей ГТД.
3. Назвіть причини відмов і несправностей ГТД.
4. Укажіть місця виявлення відмов і несправностей ГТД.
5. Розкрийте суть раптових і поступових відмов.
6. Назвіть види робіт при ТО ГТД і запобіжні заходи проти попадання сторонніх предметів всередину прихованих порожнин.
7. У чому полягають особливості ТО модульних двигунів?
8. Які типові несправності компресорів, їх причини та наслідки?
9. Назвіть методи контролю, засоби контролю і діагностики компресорів ГТД і типові несправності КЗ, їх причини та наслідки.
10. Як можна виявити в процесі експлуатації закоксованість форсунок КЗ?
11. Охарактеризуйте типові несправності турбін, причини і наслідки даних несправностей.
12. Які методи і засоби використовують для контролю і діагностування турбін?
13. Назвіть типові відмови і несправності деталей, що омиваються мастилом, причини і наслідки даних відмов і несправностей.
14. Перелічіть характерні відмови та несправності МС, причини, наслідки та ознаки даних відмов і несправностей.
15. Назвіть основні роботи при ТО МС.
16. У чому полягає мета консервації АД і в яких випадках вона проводиться?
17. Який порядок зовнішньої консервації?
18. Охарактеризуйте суть і порядок внутрішньої консервації та розконсервації.
19. Які існують способи відновлення експлуатаційних характеристик ГТД?
20. У чому полягає суть промивання проточної частини ГТД?

## Розділ 8

### ЗАПУСК, ПРОГРІВАННЯ, ВИПРОБУВАННЯ, ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ВИМИКАННЯ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

#### 8.1. Загальна характеристика процесу запуску двигунів

Запуск – це процес приведення двигуна в дію зі стану спокою і переведення його на мінімальний режим – МГ, за допомогою пускової системи. Малий газ – це такий режим роботи, за якого будь-які сторонні впливи не можуть призвести до вимкнення двигуна. Тяга на режимі МГ становить 3–5 % від тяги на максимальному режимі. Частота обертання ротора компресора на режимі МГ дорівнює:

ТРДД –  $(0,2-0,4) n_{\max}$ ;

ТГВД –  $(0,7-0,85) n_{\text{рівнов}}$ ;

ПД – 500–600 об/хв.

Тривалість запуску визначається двома взаємовиключальними вимогами:

- для якнайшвидшого вильоту запуск повинен бути якомога коротшим;
- для забезпечення нормальних умов роботи вузлів ПЧ тривалість запуску має бути максимальною.

«Золота середина» – 1–1,5 хв для одного двигуна.

Оскільки процес запуску відповідальний і складний, то до нього допускаються особи інженерно-технічного і льотного складу, які пройшли спеціальну підготовку і отримали допуск на запуск двигунів конкретного типу.

*Процес запуску містить три етапи:*

- 1) розкручування ротора стартером;
- 2) після подавання пускового палива і його запалювання подається робоче паливо і розкручування ротора здійснюється стартером і турбіною;
- 3) після вимкнення стартера, розкручування ротора з турбіною, вихід на режим МГ.

Інтенсивність запуску визначається надлишком існуючої потужності, що розвивається турбіною над потрібної потужності для приводу компресора, а також зовнішніми пристроями (ПГ, гвинтовентилятор тощо). Він створюється за рахунок надлишку

палива на кожній частоті обертання ротора стосовно сталого режиму, що забезпечує необхідне підвищення температури газу перед турбіною для необхідної швидкості розгону ротора ГТД. Звідси випливає, що режим запуску потребує підвищеного контролю температури газу за турбіною  $T_g^*$ , та частоти обертів ротора (особливо для ротора вентилятора).

*Експлуатаційні вимоги до систем запуску:*

- надійність запуску за будь-яких умов на землі і на будь-якій висоті в польоті;
- автономність запуску (можливість запуску від бортових джерел енергії);
- мінімальні витрати енергії при запуску;
- повна автоматизація процесу запуску;
- простота, зручність, надійність і безпека експлуатації і ТО;
- програма запуску повинна забезпечувати нормальні умови роботи деталей ПЧ.

*Системи запуску* визначаються типом пускового пристрою (стартера).

*Електростартер.* Як правило, це стартер-генератор, тобто після запуску він виробляє електричну енергію.

*Переваги:*

- можливість повної автоматизації;
- простота конструкції і обслуговування;
- легкість у забезпеченні електроенергією;
- досить високий ресурс.

Недолік – застосовується для двигунів порівняно невеликої потужності, тому що зі збільшенням потужності різко збільшується маса і об'єм стартера.

*Джерела енергії:*

- підземна електрична мережа з виходом на стоянці;
- аеродромний пересувний агрегат;
- генератор ДСУ або працюючого двигуна.

*Турбостартер.* Це високооборотний ГТД, який сам запускається від мініелектростартера.

Перевага – підходить для двигунів великої потужності.

*Недоліки:*

- складність конструкції і обслуговування;

- недостатній ресурс;
- мала економічність.

Джерело енергії – паливо.

*Повітряний стартер.* Це високооборотна турбіна, яка працює від стисненого повітря, що забирається від ДСУ, і кінематично пов'язана з ротором двигуна.

Переваги:

- простота конструкції і ТО;
- високий ресурс;
- надійність;
- підходить для двигунів будь-якої потужності.

Недолік – труднощі в забезпеченні джерела енергії.

Джерело енергії:

- наземні – компресор, балон;
- бортові – компресор ДСУ або працюючого двигуна.

## 8.2. Етапи запуску і контроль процесу запуску газотурбінного двигуна

Залежно від того, чим розкручується ротор двигуна (пусковим пристроєм або турбіною), запуск ділиться на три етапи (рис. 8.1).

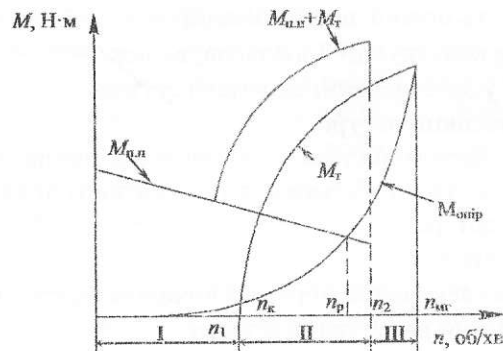


Рис. 8.1. Етапи запуску ГТД

Значимо, що  $M_{\text{опір}} = M_{\text{т}} + M_{\text{комп.}} + M_{\text{терт.}} + M_{\text{прив.агр}}$ , де  $M_{\text{опір}}$  – момент опору;  $M_{\text{комп.}}$  – момент, що витрачається на стиснення повітря в компресорі;  $M_{\text{терт.}}$  – момент тертя;  $M_{\text{прив.агр}}$  – момент, що витрачається на привід агрегатів;  $M_{\text{т}}$  – момент турбіни.

*Етап I* – від початку запуску до обертів  $n_1$ , коли в роботу вступає турбіна. На цьому етапі  $M_{\text{приск}} = M_{\text{пл}} - M_{\text{опір}}$  – відбувається розкручування ротора пусковим пристроєм  $M_{\text{пл}}$  (стартером).

Контролюються:

- 1) наростання обертів ротора;
- 2) параметри роботи пускового пристрою:
  - якщо електричного, то напруга і сила струму;
  - якщо повітряного, то тиск повітря в мережі;
  - якщо турбостартер, то оберти, температура газів, тиск і температура мастила, тиск палива.

*Етап II* – від обертів  $n_1$  до  $n_2$  (оберти вимкнення стартера). На цьому етапі  $M_{\text{приск}} = M_{\text{пл}} + M_{\text{т}} - M_{\text{опір}}$  – розкручування ротора проводиться стартером і турбіною.

Контролюються: ті самі параметри роботи стартера, а також параметри роботи двигуна:

- зростання обертів;
- температура газів за турбіною;
- тиск і температура мастила;
- тиск палива;
- параметр вібрації;
- момент вступу в роботу турбіни за появою тиску палива і температури газів за турбіною;
- момент вимкнення стартера – за сигналізацією.

*Етап III* – від  $n_2$  до  $n_{\text{мг}}$  (обертів МГ). На цьому етапі  $M_{\text{приск}} = M_{\text{т}} - M_{\text{опір}}$ .

Контролюються ті самі параметри роботи двигуна.

На  $n_{\text{мг}} \Rightarrow M_{\text{т}} = M_{\text{т}}$ ; на  $n_{\text{р}} \Rightarrow M_{\text{пл}} = M_{\text{опір}}$ ; на  $n_{\text{к}} \Rightarrow M_{\text{т}} = M_{\text{опір}}$ , де  $n_{\text{р}}$  – частота обертання «холодного прокручування». Тривалість кожного етапу залежить від моменту прискорення на цьому етапі.

## 8.3. Підготовка двигуна до запуску

У даному та нижче наведених підрозділах використано стандартні програми запуску та випробування різних типів авіаційних двигунів відповідно до типових Керівництв із льотної експлуатації ПС.

*Мета:* підготувати двигун до запуску, забезпечити справність матеріальної частини та безпеку обслуговуючого персоналу.

*Підготовка на землі:*

- запобігти потраплянню сторонніх предметів, відтак заглушки знімати безпосередньо перед запуском;

- перевірити наявність упорних колодок під колесами;
- оглянути стоянку, низ мотогондולי і крила (чи немає підтікання ПММ);
- перевірити наявність і справність наземних засобів пожежо-гасіння на стоянці;
- переконатися в чистоті стоянки;
- видалити сторонніх осіб: не ближче ніж 10 м спереду і не ближче ніж 50 м позаду;
- перевірити заземлення;
- перевірити легкість обертання ротора ТРДД прокручуванням спеціальним ключем, а ТГвД – прокручуванням стартером або спеціальним пристосуванням;
- перевірити установлення лопаті гвинта ТГвД на мінімальний кут;
- викликати засоби запуску і під'єднати до борту;
- наземні засоби запуску розташувати так, щоб при раптовому зрушенні літака не було наїзду і пошкоджень;
- встановити зв'язок з кабіною.

#### *Підготовка в кабіні:*

- переконатися, що кран «Уборка–Выпуск Шасси» перебуває у випущеному положенні і законтрений;
- переконатися, що колеса перебувають на гальмах;
- перевірити кількість ПММ за кабініними вказівниками;
- перевірити плавність ходу ВКД і повернути їх на місце (в крайнє положення);
- увімкнути необхідні автомати захисту мережі;
- увімкнути перемикачі під'єднання джерел енергії в положення «Борт»;
- перевірити напругу всіх джерел електроенергії;
- перевірити, чи справна бортова системи пожежогаасіння.

#### *Підготовка на пульті запуску:*

- перемикач вибору режиму обмеження температури поставити в потрібне положення;
- перемикач «Запуск на земле – Запуск в воздуху» поставити в потрібне положення;
- перемикач «Запуск – Холодная прокрутка» поставити в потрібне положення;

- перемикач вибору двигуна поставити в потрібне положення;
  - натиснути на кнопку «Запуск».
- Запуск відбувається автоматично.

### **8.4. Вплив експлуатаційних чинників на запуск**

#### *Низька температура зовнішнього повітря.*

Збільшується момент опору  $M_{\text{опір}}$  за рахунок збільшення густини повітря  $M_{\text{компр}}$  і зростання опору тертя зі збільшенням в'язкості мастила  $M_{\text{терт}}$ . Крім того, погіршується випаровуваність палива, що веде до запізнювання його займання і вступу в ефективну роботу турбіни. Збільшується в'язкість палива, що призводить до погіршення розпилу і якості суміші. Зменшується крутний момент стартера (електричного і турбостартера).

Отже, за низьких температур умови запуску погіршуються, оскільки зменшується момент прискорення. Але це відбувається тільки на першому етапі, поки  $M_{\text{т}} < M_{\text{опір}}$ .

Надалі потужність турбіни через збільшення вагової витрати газів і зростання теплоперепаду зростає швидше, ніж потужність опору, і розкручування ротора відбувається інтенсивніше.

Для поліпшення запуску за низьких температур застосовують:

- потужні стартери;
- підігрівання двигуна і агрегатів паливної та мастильної систем;
- якщо це не допомагає, то зливають мастило, підігрівають і знову заливають або ж додають гаряче мастило;
- розрідження мастила бензином (для ПД).

Підігрівання двигуна виконують за температур:

ТРДД – нижче мінус 40 °С; ТГвД – нижче мінус 25 °С; ПД – нижче плюс 5 °С.

#### *Висока температура зовнішнього повітря.*

За високої температури зовнішнього повітря через низьку густину повітря зменшується  $M_{\text{компр}}$ , низька в'язкість мастила зменшує  $M_{\text{терт}}$ . Тому на початку запуску розкручування ротора відбувається більш інтенсивно за рахунок стартера. Але потім потужність, що розвивається турбіною, падає сильніше, ніж момент опору.

Тому відбувається уповільнення розкручування ротора, зменшується діапазон стійкої роботи компресора і на певних оборотах можливий помпаж.

Змінення пускових властивостей двигуна і наявної потужності пускового пристрою призводить до невідповідності характеристик автомата запуску пусковим властивостям ГТД, що веде до зниження надійності запуску.

Характерні прояви відхилень потрібних і наявних моментів від розрахункових значень полягають у «зависанні» частоти обертання ротора двигуна, що запускається, і збільшенні часу запуску.

Якщо «зависання» частоти обертання спостерігається до вимкнення пускового пристрою («холодне зависання»), то його причинами можуть бути недостатня потужність пускового пристрою, запізнення подавання палива (нахил витратної характеристики), а також малий тиск палива, погіршення роботи пускових запалювачів тощо.

#### *Вологість.*

Вологість повітря насамперед впливає на ізобарну теплосмієність повітря  $C_p$  за рахунок збільшення значення газової сталої вологого повітря (для сухого повітря  $R_{\text{пов}} = 287$  Дж/кг К; для води  $R_v = 461,9$  Дж/кг К), що призводить до збільшення роботи, яка потрібна для приводу компресора, тобто збільшення моменту опору  $M_{\text{опір}}$ .

Також вологість впливає на паливо: закупорюються фільтри кристалами льоду, погіршується займистість. Крім того, волога спричиняє пробіи ізоляції, корозію електричної проводки в місцях стиків і спайки, а також може відбутися замерзання вологи в рухомих елементах конструкції, примерзання лопаток компресора до корпусу.

### **8.5. Характерні несправності під час запуску газотурбінного двигуна**

Розглянемо їх по елементах системи запуску:

#### 1. У джерелах живлення:

- недостатня напруга або сила струму при електричному стартері;
- недостатній тиск повітря через вигоки при повітряному стартері.

Це призводить до недостатньої потужності стартера і подовження або зриву запуску.

#### 2. У стартерах:

- порушення регулювання;
- погіршення характеристик стартера;
- недостатня потужність.

#### 3. В електричній системі:

- несправність електропроводки;
- несправність свічок;
- несправність котушок запалювання;
- несправність електромагнітних клапанів пускового палива;
- несправність електромеханізмів повітряних заслінок.

У результаті не подається паливо або немає його підпалу.

#### 4. У системі автоматики:

- раннє відімкнення або невідімкнення стартера;
- відхилення в програмах подавання палива;
- несвочасне відчинення і зачинення клапанів перепускання повітря.

5. Погіршення характеристик компресора, КЗ і турбіни внаслідок забруднення або зносу лопаток, форсунок. Це призводить до зниження темпу розкручування ротора, помпажу, зависання ротора на проміжних обертах.

Щоб пришвидшити і здешевити пошук причини незапуску або порушення норм запуску, будують алгоритми пошуку цих причин за принципом працевитрати – імовірність.

Наприклад, причинами незагоряння робочого палива є:

- відсутність тиску палива перед форсунками;
- несправна система запалювання;
- відсутність пускового палива.

Запуск слід припинити, якщо:

- виникла пожежа в двигуні;
- немає запалювання палива в потрібний момент;
- припинилося зростання обертів компресора (двигун «завис»);
- температура газів стійко тримається вище норми;
- немає тиску мастила;
- температура мастила вище норми;
- не з'явився тиск палива;
- передчасно вимкнувся або в потрібний момент не увімкнувся стартер;

– при електростартері – напруга впала нижче норми; при повітряному стартері – тиск повітря нижче норми.

Щоб припинити процес запуску на першому та другому етапах, треба натиснути на кнопку «Прекращение запуска», а потім переключити «Стоп-Кран», а на третьому етапі – переключити «Стоп-Кран».



## 8.6. Умови і особливості запуску поршневих двигунів

Робочий процес ПД характеризується періодичністю займання і згоряння суміші палива з повітрям. Для стійкості робочого процесу необхідно утворення в циліндрах добре підготовленої паливо-повітряної суміші. Для створення необхідних умов, за яких відбувається займання паливо-повітряної суміші в циліндрах, необхідне прокручування колінчастого вала (КВ).

Умови займання паливо-повітряної суміші ПД – 2–3 оберти КВ зі швидкістю 30–60 об/хв (рис. 8.2).

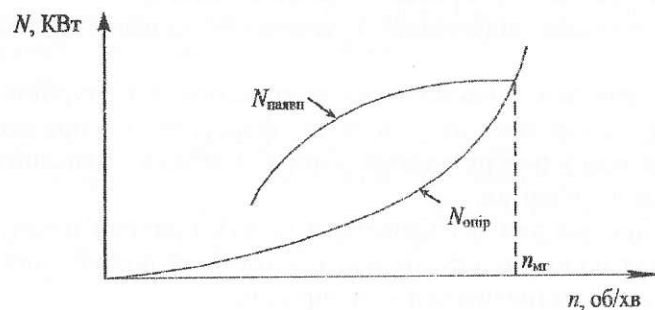


Рис. 8.2. Зміна наявної і потрібної потужності ПД:  
N – потужність; n – частота обертання КВ

При появі спалахів у циліндрах створюється достатній надлишковий момент на валу, що забезпечує виведення двигуна на режим, за якого починають працювати основні системи запалювання і живлення паливом.

Вихід на режим МГ ПД здійснює за 1–2 с унаслідок великого надлишку  $N_{\text{навант}}$  над  $N_{\text{опір}}$  ( $N_{\text{потр}}$ ) (див. рис. 8.2). Однак спочатку потрібно прикласти до вала двигуна великий крутний момент пускового пристрою:  $M_{\text{п.п}} = M_{\text{опір}} = M_{\text{терт}} + M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}$ .

Ці складові  $M_{\text{опір}}$  залежать від конструктивних особливостей, температурного стану та інших чинників і не є постійними в процесі запуску. Аналітичним шляхом  $M_{\text{п.п}}$  визначити важко.

Розглянемо складові  $M_{\text{опір}}$ . У ПД багато пар ковзання, значні поверхні тертя, мастило підвищеної в'язкості, тому  $M_{\text{терт}}$  великий і досягає 40–60 кг·м, має максимум при зрушуванні, а потім зменшується до сталого значення (рис. 8.3).

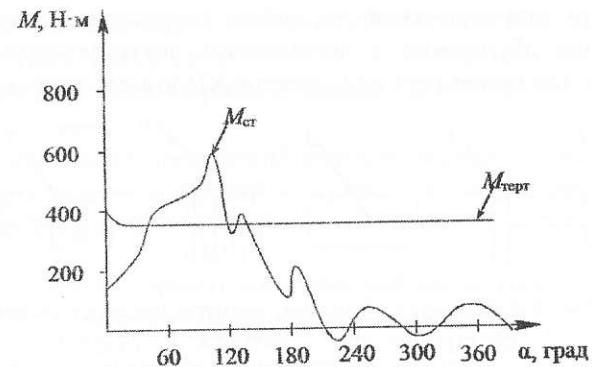


Рис. 8.3. Зміна моментів опору ПД залежно від кута повороту колінчастого вала: M – момент; α – кут повороту КВ

Момент, необхідний для стиснення суміші, визначається конструктивними параметрами двигуна (робочим об'ємом циліндрів, ступенем стиснення).  $M_{\text{ст}}$  має максимум під час першого оберту КВ, а потім зменшується і змінюється з невеликою амплітудою навколо нульового значення (див. рис. 8.3). Причина: стиснення повітря в одних циліндрах і розширення стисненої, але ще не підпаленої суміші в інших циліндрах.

Динамічний момент опору залежить від моменту інерції рухомих мас двигуна і прискорення, що їм надається:

$$M_{\text{дин}} = I \frac{d\omega}{dt} \text{ (кг·м)},$$

де  $I$  – момент інерції рухомих мас двигуна і гвинта (кг·м·с<sup>2</sup>);

$\frac{d\omega}{dt}$  – прискорення (1/с<sup>2</sup>).

Основна частка загального моменту – це момент інерції гвинта.

**Висновок.** Для успішного запуску ПД пусковий пристрій повинен мати чималий початковий крутний момент.

### 8.6.1. Засоби запуску поршневого двигуна, його експлуатаційні характеристики

Для запуску ПД найбільшого поширення набули електричні стартери двох типів: електроінерційні (рис. 8.4) і стартери комбінованої дії, що мають великий початковий крутний момент.

Інерційні стартери являють собою поєднання електродвигуна послідовного збудження з механічним акумулятором енергії – маховиком, що приводить в обертання КВ під час запуску.

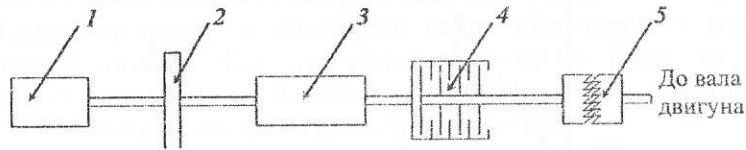


Рис. 8.4. Умовна схема електроінерційного стартера:  
1 – електродвигун; 2 – маховик; 3 – редуктор;  
4 – фрикційна муфта; 5 – храповик

*Характерна особливість:* час накопичення кінетичної енергії в маховику значно більше його витрачання під час запуску, тому потужність, споживана електродвигуном, в кілька разів менше потужності, витраченої на розкручування КВ. Це дозволяє використовувати акумуляторні батареї невеликої потужності і забезпечувати автономність запуску.

*Недоліки:* малий ККД через втрати на тертя в редукторі і фрикційній муфті. Тому за низьких температур кінетичної енергії може не вистачити для розкручування вала двигуна до необхідної швидкості обертання, що потребує повторного розкручування маховика.

Стартери комбінованої дії не мають зазначеного недоліку. Вал двигуна розкручується спільною дією маховика і електродвигуна.

Завдання маховика – подолання найбільшого за величиною початкового моменту опору, завдання електродвигуна – підтримання досягнутої швидкості КВ до появи надлишкової потужності на валу двигуна. Це не потребує повторного розкручування маховика.

Як видно з рис. 8.4, електродвигун 1 жорстко з'єднаний з маховиком 2, який через зубчасті передачі, планетарний редуктор 3 і фрикційну муфту 4 з'єднаний із храповиком 5. Пружини стискають диски фрикційної муфти. За допомогою затягування пружин можна регулювати момент прослизування муфти. Зчеплення храповика з КВ здійснюється електромагнітом через вісь.

Стартер комбінованої дії дозволяє також розкручувати КВ тільки інерційним способом під час запуску теплої двигуна або безпосередньо за рахунок крутного моменту електродвигуна при підготовці до запуску.

Для запуску ПД малої потужності застосовують системи, що використовують стиснене повітря, яке через розподільник надходить у циліндри і через поршні повертає КВ.

*Перевага* – простота.

*Недоліки* – малий початковий крутний момент на валу двигуна, охолодження паливо-повітряної суміші в циліндрах унаслідок розширення стисненого повітря.

### 8.6.2. Гідралічний удар під час запуску зірноподібних поршневих двигунів

Гідроудар – це зіткнення поршня з рідиною, що потрапила в циліндр в об'ємі, що перевищує або близький до об'єму КЗ. Оскільки рідина нестислива, на такті стиснення поблизу верхньої мертвої точки (ВМТ) вона стає непереборною перешкодою для поршня, що викликає катастрофічні наслідки – руйнуються поршні, згинаються шатуни, у блоці циліндрів і головці з'являються тріщини.

Як рідина в циліндри може потрапити вода, яка всмоктується через повітрязабірник; мастило, що потрапляє з системи змащування при втраті герметичності.

Імовірність просочування мастила зі збільшенням зносу і зменшенням в'язкості мастила збільшується.

Якщо в КЗ одного з циліндрів немає рідини, то наприкінці такту стиснення тиск збільшується до  $16 \text{ кг/см}^2$ ; якщо рідини  $200 \text{ см}^3$ , то тиск збільшується до  $32\text{--}35 \text{ кг/см}^2$  (удвічі); якщо  $350 \text{ см}^3$ , то до  $100 \text{ кг/см}^2$  (ушестеро) (рис. 8.5).

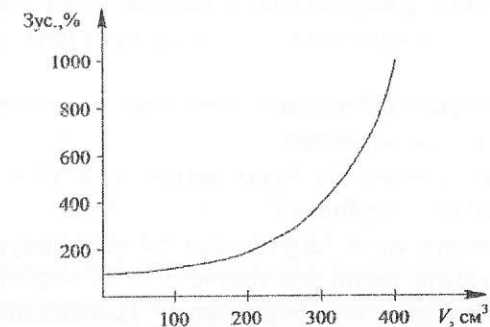


Рис. 8.5. Підвищення натискання на поршень за наявності мастила в КЗ ПД:  $Z_{\text{ус}}$  – зусилля на поршень наприкінці такту стиснення;  $V$  – кількість мастила в циліндрі

Гідродар може статися і при прокручуванні КВ електроінерційним стартером.

*Попередження гідродару:* прокручування КВ на 2–3 оберти стартером комбінованого типу безпосередньо, тобто без попереднього розкручування маховика.

При цьому агрегат безпосереднього вприскування важелем керування з кабіни потрібно перевести на нульове подавання палива, інакше воно змиє змащувальну плівку з поверхні гільзи, що призведе до передчасного зносу циліндропоршневої групи (ЦПГ).

Можна повертати колінчастий вал вручну, за лопаті гвинта.

*Попередження.* Щоб уникнути спалахів, прокручування, КВ слід проводити при вимкненому запалюванні і за температури головок циліндрів не вище  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Якщо прокручування відбувається з великим зусиллям, то потрібно викрутити свічки з нижніх циліндрів і злити рідину. Інтервал між прокручуванням і запуском – не більше ніж 15 хв.

Перед запуском перевіряється герметичність паливної та мастильної систем, проводиться заправлення мастилом.

### 8.6.3. Особливості запуску поршневих двигунів за низьких температур зовнішнього повітря

Низькі температури істотно впливають на процес запуску ПД:

– погіршуються умови запуску ПД через підвищення в'язкості мастила;

– погіршується випаровування палива, його перемішування з повітрям, унаслідок чого збіднюється суміш і погіршуються умови її займання;

– ускладнюються займання суміші внаслідок надмірного відведення тепла від електродів свічок.

Встановлено, що стійка температура  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  є межею поділу літнього та зимового періодів ТО.

Для поліпшення умов запуску ПД за температури зовнішнього повітря або головок циліндрів нижче  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  необхідно підігрівати двигуни від аеродромних підігрівачів. Найчастіше застосовують наземні підігрівачі калориферного типу на рідкому або газовому паливі. Підігрівання здійснюють при зачинених капотах і заохлених двигунах.

Температура повітря на виході не повинна перевищувати  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Підігрівати треба доти, доки температура головок циліндрів не досягне  $+30 \dots +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ступінь підігрівання контролюється за легкістю обертання ПГ. Струмінь гарячого повітря не повинен потрапляти на провідники запалювання і дюритові з'єднання, щоб уникнути їх пошкодження.

Ефективним засобом для швидкого запуску, прогрівання і гарного змащування деталей двигуна при мінусових температурах є розрідження мастила бензином перед запуском двигуна.

Розріджене мастило знижує в'язкість у холодному стані (рис. 8.6), легко проникає в зазори двигуна під час його запуску і надійно змащує поверхні тертя деталей.

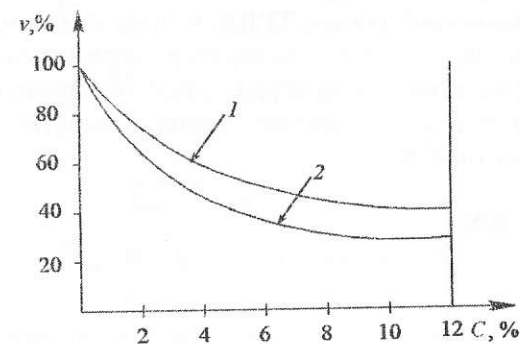


Рис. 8.6. Зміна в'язкості мастила при розрідженні бензином:  
 $v$  – в'язкість мастила;  $C$  – вміст бензину в мастилі;  
1 – мастило МС-20; 2 – мастило МС-22

Після запуску в міру прогрівання бензин з мастила швидко випаровується. Через 15 хв після запуску випаровується 80–85 % бензину, і в'язкість мастила зберігається в допустимих межах. Кількість бензину, що вводиться, залежить від передбачуваної температури зовнішнього повітря перед запуском або тривалості польоту. Зазвичай у мастило додається не більше ніж 15–18 % бензину.

Розрідження виконують увімкненням крана розрідження на працюючому двигуні при 1000–1200 об / хв перед зупинкою. Тиск мастила при цьому не повинен опускатися нижче ніж  $3\text{ кг/см}^2$ .

Розрідження мастила бензином значно пришвидшує процес підготовки двигунів до запуску і покращує умови їх експлуатації.

## 8.7. Прогрівання авіаційних двигунів

Прогріванням називається процес поступового підвищення температури деталей двигуна і мастила під час роботи двигуна на знижених режимах. При цьому деталі двигуна і мастило повинні набути температуру, близьку до експлуатаційної. Деталі двигуна прогріваються нерівномірно через свою складність конфігурації, тому встановлення підвищених режимів без попереднього прогрівання призведе до температурних напружень і, як наслідок, до пластичних деформацій, викривлення і тріщин. Крім того, на непрогрітому двигуні мастило має підвищену в'язкість, унаслідок чого погіршується процес змащування, виникає сухе тертя.

*Режими прогрівання турбореактивних двигунів.*

Конструктивна особливість ТРДД: велика кількість деталей, що піддаються впливу високих температур газового потоку. У разі швидкого підвищення температури деталі прогріваються нерівномірно, що зумовлено значною нерівномірністю температури газового потоку (рис. 8.7).

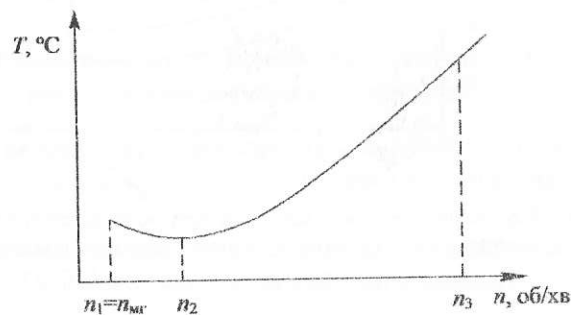


Рис. 8.7. Характер зміни температури газового потоку ТРДД залежно від частоти обертання ротора:  
 $T$  — температура потоку;  $n$  — частота обертання ротора

Наприклад, у поперечних перетинах КЗ температура досягає  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Крім того, деталі в перетині мають різну товщину, через це також прогріваються нерівномірно. Так, різниця температур по висоті і хорді лопатки турбіни досягає  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

У результаті утворюються термічні деформації, викривлення, термовтомні тріщини. Відбувається також нерівномірне відведення тепла від лопатки через хвостовик до диска. Через це при обертах

$n_2 - t_{\text{min}}$  при  $n_3 - t_{\text{max}}$ . Але на обертах з  $t_{\text{min}}$  унаслідок нерівномірного відведення тепла відбувається зменшення радіального зазору в опорних підшипниках ротора нижче мінімуму, а це спричинює підвищений знос.

Таким чином, початкове прогрівання ТРДД спочатку виконують на режимі МГ протягом однієї-двох хвилин, а потім режим плавно збільшують до  $0,7-0,8$  номінального і проводять остаточне прогрівання упродовж однієї хвилини (рис. 8.8).

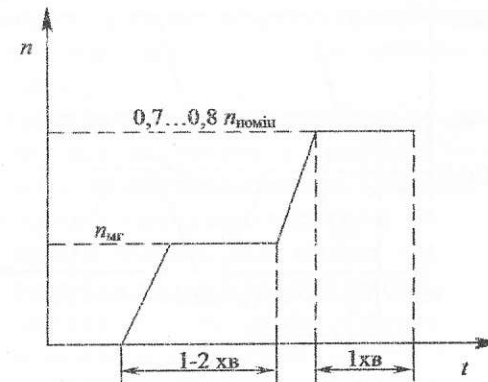


Рис. 8.8. Етапи прогрівання ТРДД

*Режими прогрівання турбогвинтових двигунів.*

Конструктивними особливостями ТГВД порівняно з ТРДД є:

- застосування мастил підвищеної в'язкості;
- мастило використовується не тільки для змащування, але також є робочим тілом у системі автоматичного регулювання ПГ, чим і пояснюється особливість прогрівання.

Спочатку прогрівання на режимі МГ проводять доти, доки температура мастила не досягне  $+20 \dots +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Однак на режимі МГ система керування ПГ не працює, мастило в її агрегатах не циркулює і не прогрівається. Тому необхідно 2-3 рази плавно протягом 5-8 с збільшувати режим до  $0,6$  номінального, а потім зменшити до режиму МГ. Мастило в системі регулювання ПГ проциркулює і прогріється (рис. 8.9).

*Режими прогрівання поршневих двигунів.*

Конструктивні особливості ПД:

- велика кількість тертьових пар ковзання (циліндр — поршень, КВ — втулка шатуна, поршневі кільця);
- застосовуються мастила підвищеної в'язкості.

Тому завдання прогрівання ПД – збільшити температуру мастила для зменшення його в'язкості і плавно підвищити температуру ЦПГ. Якщо температуру підвищити швидко, то це спричинить деформацію сідл вихлопних клапанів, втрату їх герметичності, прогар, утворення тріщин між ребрами і головками циліндрів.

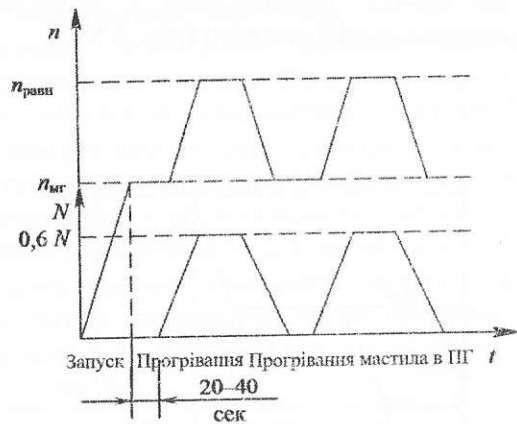


Рис. 8.9. Етапи прогрівання ТГвД

Отже, на якому ж режимі прогрівати ПД? Під час роботи непрогрітого ПД на режимі МГ двигун працює нестійко. Крім того, через насосну дію поршневих кілець у КЗ проникає мастило, яке згоряє, і осідає на електродах свічок, що погіршує іскроутворення. Тому початкове прогрівання ПД проводиться на обертах вище режиму МГ, зазвичай 900–1200 об/хв (рис. 8.10). При цьому зачиняються стулки капота і мастильного радіатора.

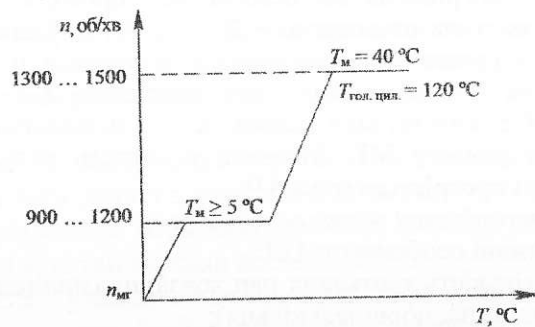


Рис. 8.10. Етапи прогрівання ПД

Коли температура мастила збільшується на 5 °С порівняно з початковою, оберти двигуна збільшуються до 1300–1500 об/хв і проводять остаточне прогрівання доти, доки температура мастила не досягне +40 °С, а температура головок циліндрів +120 °С.

### 8.8. Перевірка роботи авіаційних двигунів

*Мета* – переконатися у справній роботі двигуна і його систем. Перевірка виконується після запуску і прогрівання двигуна перед польотом, після певних форм ТО і після усунення несправностей і регулювань на двигуні.

Перевірку проводять на експлуатаційних режимах за спеціальною програмою, яка визначається графіком перевірки роботи. Графік будується в певній послідовності з урахуванням готовності систем до перевірки і мінімально можливої зміни режимів роботи двигуна. Координати графіка: вісь абсцис – час роботи двигуна; вісь ординат – значення режимів роботи двигуна.

Під час перевірки контролювані параметри роботи двигуна порівнюють із заданими за технічними умовами. Робочі сталі режими перевірок: МГ, один із крейсерських, номінальний і злітний. Крім того, перевіряють стійкість роботи двигуна на несталих режимах.

#### 8.8.1. Перевірка роботи турбореактивних двокоонтурних двигунів

Режим роботи ТРД визначається обертами ротора, тому графік будується в координатах: число обертів – час роботи.

На сталих режимах контролюються такі параметри:

- число обертів;
- температура газів;
- тиск палива;
- тиск і температура мастила;
- параметр вібрації;
- на деяких типах – ступінь стиснення повітря в компресорі.

На злітному режимі час роботи обмежується залежно від типу двигуна до 8–12 с. Параметри злітного режиму безпосередньо залежать від температури і тиску зовнішнього повітря, тому в графіках перевірок для злітного режиму наведені номінальні значення температури газів і обертів компресора для різних температур зовнішнього повітря.

### *Перевірка прийомистості.*

*Прийомистість* – це здатність швидко і плавно переходити зі зниженого на підвищений режим при різкому переміщенні ВКД ( $t = 1-2$  с), яка оцінюється часом. Повна прийомистість – від режиму МГ до злітного режиму. Часткова прийомистість – в обмеженому діапазоні обертів. Для ТРДД повна прийомистість 15–17 с. Щоб зменшити закидання температури газів і уникнути помпажу, при перевірці прийомистості ВКД переміщують плавно за 1–2 с.

### *Охолодження і зупинення ТРДД.*

Охолодження необхідне, щоб уникнути термонапружень і, як наслідок, викривлення і тріщин деталей гарячої частини двигуна. Охолодження здійснюється на обертах з мінімальною температурою газів протягом 1–2 хв. Що нижче температура зовнішнього повітря, то триваліше охолодження.

Зупинення проводиться шляхом припинення подавання палива важелем зупинення двигуна або стоп-краном. У процесі зупинення замірюється час вибігу ротора, тобто час його вільного обертання з моменту припинення подавання палива до повної зупинки. Цей час характеризує тертя, а отже, стан підшипників, приводів агрегатів тощо. Потрібно також переконатися в тому, що немає сторонніх шумів і стукоту.

### *Перевірка реверса.*

На режимі МГ важелем керування реверсом ступки реверса переводять у положення зворотної тяги, про що свідчить загоряння табло «Створки Реверса» та «Замок Реверса». Попрацювавши 5–10 с, важіль керування реверсом переводять у положення «Реверс Отключен», тобто двигун переходить на пряму тягу. Табло гаснуть. Параметри режиму максимальної зворотної тяги перевіряють під час попереднього пробігу літака при користуванні реверсом.

## **8.8.2. Особливості перевірки роботи турбогвинтових двигунів**

У ТГвД є два значення обертів: земний МГ і рівноважний – постійний на всіх режимах. Зміна потужності відбувається за рахунок зміни подавання палива ВКД і автоматичної зміни кута установлення лопатей. Режим визначається кутом повороту ВКД, який вказує покажчик положення важеля палива. Тому графік перевірки будують у координатах: градуси повороту ВКД за покажчиком положення важеля палива – час роботи. Додатково для наочності вказують оберти МГ і рівноважного режиму.

На сталих режимах у ТГвД перевіряються такі параметри:

- частота обертання ротора;
- температура газу за турбіною  $T_g^*$ ;
- температура і тиск мастила;
- тиск палива;
- параметр вібрації.

Додатково:

- параметр тяги  $P$  у вигляді тиску у вимірювачі крутного моменту (ВКМ);

- годинна витрата палива.

На несталих режимах перевіряють:

- роботу системи флюгування;
- роботу проміжного упору ПГ;
- прийомистість.

### *Перевірка роботи системи флюгування.*

У разі відмови двигуна виникає сильна негативна тяга (опір ПГ), дуже небезпечна для польоту, оскільки може ввести літак у штопор. Щоб зменшити цю тягу до мінімуму, одночасно з відмовою двигуна ПГ флюгується, тобто лопаті ставляться у положення – перпендикулярно площині обертання ПГ з кутом установлення  $\phi = 90^\circ$ , за якого вони надають мінімального опору. Через важливість системи для БП вона багаторазово резервується.

Флюгування може виконуватися такими способами:

- автоматичне флюгування по падінню крутного моменту  $M_{кр}$  (флюгування за вимірником крутного моменту – ВКМ), якщо двигун працював на режимі вище 0,7 номінального і відбулося його вимкнення;

- автоматичне флюгування при появі негативної тяги;

- примусове (ручне) флюгування кнопкою «Флюгирование», якщо не відбулося автоматичного флюгування;

- у разі відмови флюгерного насоса або витікання мастила проводиться аварійне флюгування шляхом подавання тиску від ГС у порожнину ПГ для повороту лопатей у флюгерне положення.

Перевірка флюгування шляхом повного флюгування не проводиться, тому що при повному флюгуванні двигун автоматично вимикається. Для цього існують непрямі системи перевірки.

Перевірити систему флюгування – означає:

- перевірити, чи працює флюгерний насос, який подає мастило в порожнину повороту лопатей;
- перевірити, чи повертаються лопаті в бік збільшення кута установлення лопатей;
- перевірити, чи спрацьовує датчик, що реагує на зменшення крутного моменту;
- перевірити, чи спрацьовує датчик появи негативної тяги;
- перевірити, чи справна електропроводка і сигналізація.

Способи перевірки:

1. Перевірка шляхом часткового флюгування: на режимі 0,6  $N$  натискають на кнопку часткового флюгування, після чого спрацьовує флюгерний насос. При цьому загоряється лампочка, насос подає мастило в порожнини повороту лопатей на збільшення кута їх установлення (лопаті «завантажуються»). Оскільки подавання палива не збільшується, то для рівноваги наявної і потрібної потужностей автоматика змушена знижувати частоту обертання. Дочекавшись зменшення частоти обертання на 1,5–2 % (не більше), припиняють натискання кнопки – оберти відновлюються до рівноважних. Таким чином переконуються, що флюгерний насос працює і лопаті повертаються.

2. Перевірка флюгування по ВКМ: двигун виводиться на режим 0,7  $N$ , вмикається перемикач перевірки флюгування по ВКМ і прибирається ВКД на зменшення режиму, ніби імітуючи падіння крутного моменту. Повинна спалахнути сигнальна лампочка.

3. Перевірка флюгування за негативною тягою: проводиться на режимі земного МГ, шляхом увімкнення вимикача перевірки. Повинна спалахнути лампочка спрацьовування датчика негативної тяги.

*Перевірка роботи проміжного упору ПГ.*

На режимі малої тяги і малій швидкості (наприклад, на режимі зниження), коли лопаті перебувають на малому установчому куті, їх обтікання від потоку, що набігає, і від обертання може стати таким, що тяга буде не рушійною, а негативною, а це небезпечно для польоту. Щоб уникнути цього, вводиться спеціальний проміжний упор, який зупиняє за необхідності гвинт на певному проміжному куту і не дозволяє йому зменшуватися далі, тим самим запобігаючи появі негативної тяги.

Крім того, проміжний упор дозволяє швидко виходити на підвищений режим роботи двигуна (наприклад, при заході на друге коло). Під час посадки, коли ПГ знімається з упору, виникає негативна тяга, яка допомагає гальмувати літак. Через важливість системи в забезпеченні БП працездатність проміжного упору перевіряють перед вильотом.

Встановлення ПГ на упор робиться автоматично при зниженні режиму роботи двигуна. Тому для перевірки двигун виводять на режим 0,6  $N$  і перемикач гвинта ставлять у положення «Винт на Упор». Потім ВКД переводять на зменшення подавання палива для поступового зменшення кута установлення лопатей.

У заданій точці лопаті натикаються на упор, і кут установлення лопаті далі не може зменшуватися. Для рівноваги автоматично доводиться зменшувати оберти. Дочекавшись зменшення на 200–300 об/хв, перемикач «Винт» ставиться в положення «знятий з упору». Лопаті повертаються на менший кут, і оберти відновлюються до рівноважних.

*Перевірка прийомистості ТГвД.*

Особливістю конструкції ТГвД є велика маса обертових деталей (інерційність). Тому при швидкому переміщенні ВКД уперед відбувається більш інтенсивна зміна наявної потужності порівняно із споживаною. В результаті цього спрацьовує автоматика і відбувається закид обертів і температури газів. Щоб уникнути цього, ВКД потрібно переміщати плавно і повільно (3–4 с). Повна прийомистість ТГвД гірша, ніж прийомистість ТРДД, і становить до 20 с. Час фіксується при перекладі ВКД від МГ до максимального значення параметра тяги  $P_{вкм}$  і тиску палива перед форсунками.

*Охолодження і зупинення ТГвД.*

Охолодження здійснюється на режимі МГ протягом 2–3 хв; зупинення – шляхом припинення подавання палива електромагнітними кранами зупинення (пожежними) або переведенням ВКД у положення «Останов». Під час зупинення вимірюється «вибіг» гвинта.

### **8.8.3. Особливості перевірки роботи поршневих двигунів**

Поршневими двигунами керують два важелі (сектори):  
– важіль (сектор) газу, за допомогою якого змінюється подавання паливо-повітряної суміші через дросельну заслінку;

– важіль (сектор) гвинта, за допомогою якого змінюється кут установлення лопатей.

– Але під час перевірки кут установлення лопатей мінімальний і не змінюється, тому режим роботи ПД у цьому випадку однозначно встановлюється частотою обертання, і графік перевірки будується в координатах «частота обертання (оберти) – час роботи».

- На сталих режимах контролюються такі параметри:
- оберти;
- температура головок циліндрів;
- тиск і температура мастила;
- тиск палива;
- тиск паливо-повітряної суміші (тиск наддування);
- параметр вібрації.

На несталих режимах перевіряються:

- прийомистість;
- робота системи запалювання;
- спільна робота ПГ і регулятора обертів;
- робота двигуна на рівноважних оборотах;
- робота висотного коректора;
- робота системи флюгування (якщо вона є).

*Перевірка прийомистості ПД.*

Поршневі двигуни мають значну надлишкову потужність і менші значення крутного моменту інерції деталей, що обертаються. Тому прийомистість висока – 1,5–2 с. При перевірці дросельну заслінку слід відчиняти сектором газу плавно за 1,5–2 с. Якщо це зробити різко, то суміш перезбагачується та відбувається «захливання» двигуна і зменшення обертів.

*Перевірка роботи системи запалювання.*

У кожному ПД є по два магнето, які створюють іскру в двох свічках кожного циліндра, це потрібно для забезпечення повноти згоряння палива. При перевірці на режимі 0,9 *N* по черзі вимикається кожне з магнето. Це означає, що в кожному циліндрі працюватиме замість двох одна свічка, згоряння буде неповним і оберти впадуть. Якщо таке падіння не буде перевищувати 100 об/хв, це означає, що магнето справне і відрегульоване. Якщо падіння обертів більше, то це означає, що працююче магнето розрегульоване.

*Охолодження і зупинення ПД.*

На обертах вище МГ, а саме 800–1000 об/хв, потрібно попрацювати доги, доки температура головок циліндрів не зменшиться до

140–170 °С. При цьому стулки капотів повинні бути відчинені для кращого охолодження. Але на знижених обертах свічки погано очищаються від нагару, тому перед зупинкою їх треба прожарити, для чого збільшити обороти до 1600–1800 об/хв і попрацювати 5–10 с, потім знову зменшити до 800–1000 об/хв, вимкнути подавання палива і після припинення спалахів у циліндрах важелем газу відчинити дросельну заслінку для очищення циліндрів від продуктів згоряння і охолодження стінок циліндрів чистим повітрям. Потім вимкнути запалювання, зачинити дросельну заслінку і пожежний кран.

### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Дайте загальну характеристику процесу запуску АД.
2. Які експлуатаційні вимоги висувуються до систем запуску?
3. Назвіть системи запуску, що застосовуються в АД.
4. Опишіть схему етапів запуску і охарактеризуйте їх.
5. Як здійснюється контроль запуску на різних етапах?
6. У чому суть підготовки двигунів до запуску на землі і в кабіні?
7. Охарактеризуйте вплив експлуатаційних чинників на процес запуску.
8. Розгляньте характерні несправності під час запуску ГТД.
9. У чому полягають особливості робочого процесу ПД?
10. Дайте характеристику моментів опору ПД.
11. Які засоби використовують під час запуску ПД?
12. Що таке гідравлічний удар під час запуску ПД?
13. У чому особливості запуску ПД за низьких температур зовнішнього повітря?
14. Яка мета прогрівання авіаційних двигунів перед запуском?
15. Назвіть режими прогрівання ТРДД.
16. Назвіть режими прогрівання ТГВД.
17. Назвіть режими прогрівання ПД.
18. У чому полягає мета перевірки роботи АД і принцип побудови графіка перевірки?
19. Перевірка ТРДД на сталих режимах.
20. Перевірка ТРДД на несталих режимах.
21. Особливості перевірки ТГВД на сталих режимах.
22. Перевірка роботи системи флюгування.
23. Перевірка роботи проміжного упору ПГ.
24. Особливості перевірки ПД на сталих режимах.
25. Особливості перевірки ПД на несталих режимах.
26. Перевірка роботи системи запалювання ПД.



## Розділ 9

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОРШНЕВИХ ДВИГУНІВ

В авіації застосовують поршневі двигуни внутрішнього згоряння таких типів: бензинові ПД, що працюють за циклом Отто (з підведенням тепла при постійному об'ємі  $V = \text{const}$ ); за циклом Дизеля (з підведенням тепла при постійному тиску  $P = \text{const}$ ); за циклом Трінклера–Сабате (комбіноване підведення тепла: спочатку  $V = \text{const}$ , а потім  $P = \text{const}$ ).

Ці двигуни практично працюють за однаковими принципами і розрізняються за типами робочого палива (бензин, дизельне паливо), процесами підведення тепла та параметрами робочого процесу (ступінь стискування для бензинових двигунів  $\epsilon$  до 9–11; для дизельних  $\epsilon$  до 18–22).

#### 9.1. Основні відмови і несправності циліндропоршневої групи, їх причини та наслідки

Через складну конструкцію ПД їх ТО більш трудомістке, ніж ТО ГТД.

1. Тріщини гільз і головок циліндрів у міжреберній частині.

Причини:

– конструктивно-технологічні (неякісний матеріал, недосконала технологія);

- перегрівання двигуна;
- перезатягування свічок;
- гідравлічні удари під час запуску.

Ознаки:

• сліди прориву вихлопних газів на ребрах гільз і головок циліндрів;

- сліди підтікання мастила на циліндрах і капотах;
- тряска двигуна.

2. Негерметичність з'єднань усмоктувальних і вихлопних систем з причини втрати пружності ущільнень і ослаблення затягування гвинтів і шпильок.

Ознаки – ті самі.

3. Підвищений знос поршнів, поршневих кілець, гільз циліндрів.

Причини:

- запиленість повітря;
- перегрівання двигуна і мастила;
- забрудненість мастила;
- малий або великий зазор між поршнем і циліндром.

Ознаки:

- тряска двигуна;
- падіння потужності;
- підвищена витрата мастила;
- падіння компресії (зменшення герметичності циліндрів);
- підвищена температура мастила і головок циліндрів;
- викид мастила з системи суфлювання.

4. Обгоряння і обривання грибка клапана випуску.

Причини:

- перегрівання і викривлення клапана;
- руйнування фаски клапана;
- неякісний бензин;
- потрапляння під клапан твердих частинок у вигляді нагару і металу.

Ознаки:

- тряска двигуна;
- падіння компресії;
- свист на малому газі.

5. Порушення зазорів між роликками важелів і штоками клапанів системи газорозподілу.

Причини:

- знос деталей механізму газорозподілу;
- просадка або подовження клапана;
- слабке затягування гвинта важеля клапана.

Ознаки:

- тряска двигуна;
- падіння потужності.

#### 9.2. Основні роботи при технічному обслуговуванні

Контроль візуальний і фізичними методами неруйнівного контролю стану деталей ЦПГ (рис. 9.1).

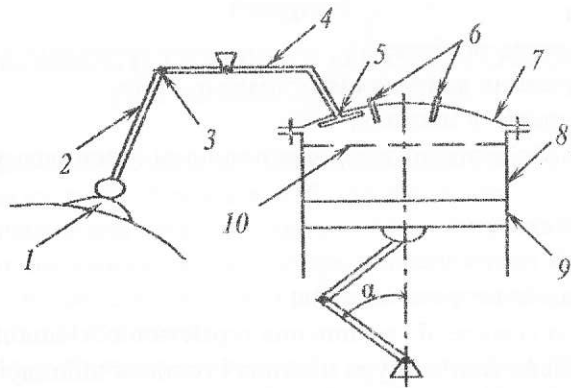


Рис. 9.1. Схема ЦПГ ПД: 1 – кулачок; 2 – штовхач; 3 – регулювальний гвинт; 4 – важіль; 5 – клапан; 6 – свічки запалювання; 7 – головка циліндра; 8 – циліндр; 9 – поршень; 10 – ВМТ

### 1. Перевірка компресії циліндрів (ступеня герметичності).

Погіршує компресію:

- знос поршневих кілець;
- прогар поршнів;
- знос гільз циліндрів;
- негерметичність клапанів.

Перевірка проводиться на теплому двигуні за температури головок циліндрів  $+10 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$  з допомогою манометра з перехідником, який угвинчується в отвір під свічку. Поворотом лопатей гвинта досягається такт стиснення. Тиск повинен бути не менше ніж  $3 \text{ кг/см}^2$ .

2. Огляд дзеркала циліндрів з допомогою оптичного пристосування на кшталт ендоскопа, яке вводиться в отвір під свічку. Перевіряється стан поверхні.

Можливі: надири; риски; підвищений місцевий знос; прогари.

3. Перевірка і регулювання зазорів між роликом важеля і штовком клапана системи газорозподілу. Величина зазору залежить від температури. На холодному двигуні зазор дорівнює  $0,5 \text{ мм}$ , на гарячому –  $2 \text{ мм}$ .

Якщо зазор менше допустимого, то існує небезпека, що клапан не зачиниться. В результаті погіршується наповнення циліндрів, виникає тряска. Якщо зазор більше допустимого, то збільшується швидкість підймання і установлення клапана, виникають ударні

динамічні навантаження. Оскільки зазор змінюється залежно від температури, то перевірка і регулювання здійснюються за температури головок циліндрів  $t_{\text{гц}} = +10 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$  і положення поршня у ВМТ. На рис. 9.2 наведено основні геометричні параметри робочої зони циліндра.

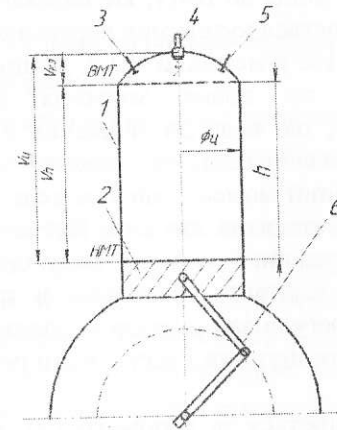


Рис. 9.2. Схема геометричних параметрів циліндра: 1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – впускний клапан; 4 – свічка запалювання; 5 – випускний клапан; 6 – шатун;  $V_{\text{г}}$  – об'єм камери згоряння;  $h$  – хід поршня;  $V_h$  – об'єм робочого ходу поршня;  $V$  – повний об'єм циліндра

Основними геометричними параметрами ПД є:

- робочий хід поршня  $h$  – відстань між НМТ і ВМТ;
- об'єм камери згоряння (об'єм порожнини стискування)  $V_c$  – об'єм над поршнем, коли поршень перебуває у ВМТ;
- робочий об'єм циліндра  $V_h$  – об'єм циліндра між НМТ і ВМТ;
- повний об'єм циліндра  $V_{\text{ц}} = V_c + V_h$ ;
- ступінь стискування  $\varepsilon = V_{\text{ц}} / V_c$ . Для виконаних ПД ступінь стискування у бензинових двигунах  $\varepsilon = (7-10)$ , а для дизельних  $\varepsilon = (18-22)$ .

Перевірка зазору проводиться щупами, а регулювання – регулювальним гвинтом на другому плечі важеля.

### 9.3. Технічне обслуговування системи запалювання

На кожному циліндрі двигуна розміщено по дві свічки, щоб забезпечити повноту і швидкість згоряння. Якщо іскра на свічках

буде з'являтися в момент повного стиснення, тобто у ВМТ, то згоряння суміші не забезпечить повного ККД, тому що у ВМТ процес згоряння ще буде відбуватися і тиск газу не досягне максимального значення. Тому іскра на свічках повинна з'являтися раніше, ніж поршень дійде до ВМТ. Це називається випередженням запалювання і вимірюється кутом між вертикаллю і віссю шатуна  $\alpha$ , який зазвичай перебуває в межах 20–21°. Якщо  $\alpha$  більше нормативу (раннє запалення), то повне згоряння відбудеться раніше необхідного моменту, що веде до зниження ККД. Якщо  $\alpha$  менше нормативу (пізнє запалювання), то процес згоряння не встигне завершитися в потрібний момент, що теж веде до зниження ККД, а догоряння відбуватиметься на вихлопі. Кут  $\alpha$  залежить від зазору між контактами переривника магнето, тому що іскра з'являється в момент розмикання контакту. Оскільки в процесі експлуатації внаслідок зносу і розрегулювання зазор змінюється, його періодично доводиться вимірювати щупами і регулювати поворотом кулачків на знятому магнето.

Магнето встановлюється за допомогою спеціального пристосування. Після регулювання й установа магнето перевіряється правильність виконання даних процедур. Для цього на певному режимі вимикається друге магнето: оскільки загоряння відбувається від однієї свічки, то оберти повинні зменшитися, але не більше ніж на 100 об/хв. Якщо оберти перевищать це значення, то регулювання здійснене неправильно.

Крім того, у системі запалювання перевіряються свічки на іскроутворення і герметичність.

#### 9.4. Технічне обслуговування повітряних гвинтів

Технічне обслуговування ПГ зводиться до зовнішнього огляду лопатей і перевірки їх кріплення.

Лопаті ПГ пошкоджуються в результаті удару сторонніми предметами:

– під час руху літака внаслідок відкидання сторонніх предметів від передніх коліс у площину обертання ПГ;

– при роботі двигуна на стоянці внаслідок підсмоктування предметів у площину обертання гвинта.

Будь-яке пошкодження лопаті є концентратором напружень, тому потрібно ретельно проводити їх дефектацію.

Не допускаються:

- будь-які тріщини в будь-якому місці;
- погнутість вище допуску;
- забоїни вище допустимої величини і вище допустимої відстані між ними;
- риски і забоїни будь-якого розміру на радіусі від центру до 0,75 R;
- корозія вище норми;
- прогари і пробоїни нагрівальних прокладок;
- відклеювання пелюсток нагрівальних накладок у кількості вище допуску.

Допустимі забоїни на передніх і задніх крайках слід плавно зашліфувати під профіль перетину лопаті. Якщо забоїна знаходиться на кінці однієї лопаті, то потрібно зашліфувати кінці всіх лопатей, щоб не порушити балансування. Якщо стався удар гвинта об перешкоду, то створюється комісія, яка вирішує питання про наступну експлуатацію не тільки гвинта, але і всього двигуна.

З'єднання гвинта з валом редуктора виконується двома способами:

1. На літаках з ТГВД – за допомогою плоских фланців зі шліцями.

2. На літаках з ПД – за допомогою шліців на валу редуктора і внутрішньому конусі гвинта.

Основні відмови і несправності гвинтів:

- порушення балансування;
- лопаті не встановлюються у флюгерне положення або не виводяться з нього;

– протікання мастила з-під втулки ПГ.

При ТО виконуються такі роботи:

- перевірка стану лопатей і нагрівальних елементів;
- перевірка биття лопатей на контрольному радіусі;
- перевірка витікання мастила;
- затягування гайок кріплення фланців або шліцьового з'єднання динамометричним тарованим ключем.

Щоб переконатися у відсутності тряски, роботу ПГ перевіряють під час запуску на всіх режимах.

### Запитання та завдання для самоперевірки

1. Назвіть основні відмови і несправності ЦПГ, їх причини, наслідки та ознаки.
2. Перелічіть і стисло охарактеризуйте основні роботи при ТО ПД.
3. У чому полягає суть перевірки компресії циліндрів?
4. Який порядок перевірки і регулювання зазорів у системі газорозподілення ПД?
5. Як відбувається перевірка системи запалювання ПД?
6. Назвіть основні ушкодження лопатей ПГ і їх причини.
7. Які роботи проводяться при ТО ПГ?

## Розділ 10

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВЕРТОЛЬОТІВ

#### 10.1. Вплив експлуатаційних чинників на автоколювання вертольота (земний резонанс і флатер)

Конструктивні схеми вертольотів:

1. Одногвинтові з хвостовим кермовим гвинтом (КГ).
2. Зі співвісним розташуванням несучих гвинтів.
3. Двогвинтові поздовжньої схеми.

Основна особливість вертольота – вертикальне та горизонтальне переміщення за рахунок тяги НГ. Є системи поздовжньо-поперечного керування і системи керування спільним кроком НГ.

Режим польоту може бути сталим і несталим (вектор швидкості змінюється за величиною і напрямком).

Режими польоту: зліт, набір висоти, горизонтальний політ, зниження і посадка.

#### *Зліт*

1. Зліт по-вертолітному: вертикальний відрив, контрольне висіння, набір висоти по похилій траєкторії зі збільшенням швидкості. Зліт завершений, якщо  $H = 20-25$  м.

2. Зліт з розгоном (по-літаковому): розгін, відрив, набір висоти по похилій траєкторії зі збільшенням швидкості (потрібний майданчик).

3. Зліт по-вертолітному з використанням повітряної подушки (на висоті не більше діаметра гвинта).

#### *Посадка*

1. Посадка по-вертолітному: планерування зі зменшенням швидкості, зависання в зоні впливу повітряної подушки (2–3 м), вертикальне зниження, посадка.

2. Посадка по-літаковому (з пробігом): планерування, вирівнювання, витримування, приземлення і пробіг.

3. Посадка на режимі самообертання НГ (авторотація) особливий – випадок посадки з непрацюючим двигуном.

Керованість характеризується ефективністю і чутливістю керування, запізненням керування і зусиллями на командних важелях.

На вертольоті налічують кілька сотень різних коливань окремих частин і всього вертольота, а оскільки є низка джерел збуджу-

вальних сил, до яких належать несуча система, КГ, СУ, редуктори і трансмісії, системи охолодження двигунів тощо. Коливання, викликані зазначеними причинами, називаються вимушеними. Вони відбуваються з частотою, що дорівнює частоті збуджувальних сил. Частота збуджувальних сил НГ – 8–16 Гц, КГ – 10–60 Гц, трансмісій – 50–160 Гц, СУ – 600–1000 Гц. Вібрації від лопатей НГ і КГ передаються через втулки і потік повітря, що відкидається лопатями. Цей потік викликає знакозмінні напруги в елементах конструкції.

Вимушені вібрації зазвичай не є небезпечними через незначну їх амплітуду, проте в деяких випадках при порушенні умов експлуатації вони можуть стати небезпечними. Вібрації вважаються допустимими, якщо вони не ведуть до руйнування конструкції і не викликають неприємних відчуттів у людини. Щоб більше частота коливань, то менше амплітуда вібрації, яка безболісно переноситься людиною.

Найчастіше піддаються вимушеним вібраціям тяги проводки керування. Особливо важливо не допустити резонансу тяг, відтак необхідно знати власну частоту коливань тяги, яка пропорційна діаметру тяги і обернено пропорційна квадрату довжини. Для усунення резонансу тяг застосовують інерційні демпфери – вантаж всередині тяги на гумових амортизаторах.

Крім вимушених коливань під час експлуатації вертольотів трапляються самозбудні коливання, виникнення яких вважається аварійною ситуацією. Розрізняють три види вертолітних самозбудних коливань: земний резонанс, автоколивання вертольота в польоті і вібрації типу «флатер».

Земним резонансом зазвичай називають коливання вертольота, що самовільно виникають на землі з наростаючою амплітудою.

Земний резонанс – це результат взаємодії двох коливальних систем: вертольота і лопатей НГ. Такі коливання особливо виявляють себе в момент розкручування і зупинення НГ.

Якщо виникає будь-який поштовх (порив вітру, груба посадка і т.п.), то з'являються власні коливання лопатей НГ у площині обертання щодо вертикальних шарнірів. Ці коливання викликають інерційні сили в площині обертання гвинта. Передаючись на фюзеляж, вони викликають його коливання на пружному шасі. Частота збуджувальних сил, які розгойдують вертоліт, залежить від

частоти власних коливань лопаті в площині обертання і кутовій швидкості обертання гвинта.

Найлегше вертоліт розгойдується тоді, коли частота збуджувальних сил близька до частоти власних коливань вертольота на пружному шасі. Одночасно коливання корпусу вертольота призводять до виникнення сил, які розгойдують лопаті в площині обертання. Наявність такого двостороннього зв'язку між коливаннями вертольота і коливаннями лопатей призводить до того, що при деякій кутовій швидкості обертання гвинта вертоліт може стати нестійким, тобто, раз почавшись (унаслідок якого-небудь поштовху), коливання вертольота можуть виявитися не затухаючими, а наростаючими.

Основними конструктивними засобами боротьби з цим явищем є:

– установлення спеціальних демпферів на вертикальних шарнірах лопатей НГ, які демпфують коливання лопатей у площині обертання;  
– введення спеціальних демпфуючих елементів у конструкцію амортизаторів шасі або правильний вибір характеристик гідропору амортизаторів шасі на прямому і зворотному ході.

До порушень правил ТО, що призводять до виникнення земного резонансу, належать:

- неправильне заряджання амортизаторів шасі;
- неправильне регулювання демпферів вертикальних шарнірів;
- порушення правил заряджання і несправності спеціальних пружин демпферів шасі;
- неправильне заряджання пневматиків коліс шасі;
- порушення правил швартування;
- бічний вітер ( $W > 8$  м/с);
- порушення правил керування двигуном і вертольотом.

Автоколивання вертольота в польоті за своєю природою схожі з явищем земного резонансу. Ці вібрації поєднують коливання лопатей НГ щодо вертикальних шарнірів і пружних елементів фюзеляжу вертольота. При коливаннях лопатей виникає відцентрова сила НГ, яка веде до биття вала і деформації стрижнів підредукторної рами і силових елементів фюзеляжу. Дане явище притаманне здебільшого двогвинтовим вертольотам повздовжньої схеми.

Флатер лопатей гвинтів буває двох видів: згинально-крутильний і маховий. Згинально-крутильний флатер у чистому вигляді найчастіше трапляється у лопатей з жорстким кріпленням до

втулки. Маховий флатер, тобто поєднання махових рухів з коливаннями лопаті стосовно осьового шарніра, спостерігається у лопатей з шарнірною підвіскою. Флатер обох видів усувається за допомогою низки конструктивних заходів (збільшення жорсткості, підбір лопатей центруванням). Однак флатер може виникнути за експлуатаційних причин через порушення вагового балансування і зменшення жорсткості конструкції. Порушення вагового балансування особливо характерно для лопатей змішаної каркасної конструкції через гігроскопічність застосовуваних матеріалів. Вагове балансування порушується також унаслідок недбалого ремонту лопатей.

Ослаблення жорсткості лопатей відбувається через приховані руйнування елементів конструкції.

Флатер виявляється в разі виникнення сильної тряски і «розмивання» конуса обертання лопатей. Необхідно пам'ятати, що «розмив» властивий і порушенню співконусності НГ у результаті неправильного регулювання, проте в останньому випадку він не залежить від частоти обертання НГ.

## 10.2. Умови експлуатації та технічного обслуговування несучої системи і трансмісії вертольота

Технічний стан НГ і трансмісії змінюється в результаті впливу:

- значних знакозмінних навантажень;
- експлуатаційних чинників.

Приклади поломок НГ у результаті порушення правил експлуатації:

1. Різке увімкнення трансмісії під час випробування двигуна може призвести до поломки силових елементів лопатей через удар лопаті об обмежувачі.

2. Різке увімкнення гальма трансмісії може спричинити випадання лопаті з її обмежувачів, удар її об хвостову балку.

3. Недбале зняття лопатевих чохлаів може призвести до відгінання і пошкодження тримерних пластин, що порушить співконусність.

Технічне обслуговування несучої системи вертольота включає в себе: дефектацію, усунення виявлених несправностей, регулювальні і монтажні роботи.

Відмови і несправності втулки НГ:

- корозія;

- механічні пошкодження;
- пошкодження контрування;
- ослаблення кріплення деталей;
- несправність обмежувачів схилу лопатей;

– витікання мастила з ущільнень осьових шарнірів, чому сприяє заправлення їх без урахування температурного розширення мастила. Рівень мастила в осьових шарнірах контролюється.

При ТО здійснюється виявлення дефектів кожної лопаті, особливо кінцеві ділянки лонжеронів, носові і хвостові частини відсіків лопатей. Для огляду лонжерона на обшивці лопатей у місцях найбільш навантажених ділянок лонжерона передбачені спеціальні локи. Щоб визначити стан лопатей НГ і попередити наскрізні тріщини в стінках лонжеронів, застосовується сигналізація пошкодження лонжерона лопаті.

Принцип роботи систем сигналізації: внутрішня порожнина лонжерона герметична і наповнена повітрям під тиском 50 кПа. Із внутрішньою порожниною з'єднаний сильфон датчика, заповнений гелієм. При падінні тиску нижче допустимого сильфон або замикає електричні контакти, або пересуває шток механічного покажчика.

Треба враховувати, що тиск початку спрацьовування сигналізатора залежить від температури.

Якщо проводилися роботи з обслуговування системи сигналізації, то необхідно у формулярі комплексу лопатей зробити відповідні записи із зазначенням заміряних величин: температури повітря, тиску в лонжероні до і після проведення робіт і тиску початку спрацьовування сигналізатора.

Горизонтальні, вертикальні й осьові шарніри потребують змащування в процесі експлуатації. Тривала робота осьового шарніра без своєчасного і достатнього змащування призводить до підвищеного зносу доріжки опорного підшипника осьового шарніра і заїдання ручки керування в польоті через односторонній знос підшипника.

Безпечна експлуатація вертольота значною мірою визначається надійністю роботи його трансмісії, за тривалою роботи якої потрібне проведення низки робіт з її змащення, регулювання і огляду.

Оглядаючи редуктори, необхідно звертати увагу на стан вузлів кріплення їх до конструкції, на якість і кількість мастила, що заправляється, на герметичність мастильної системи і самих редукторів.

Під час огляду трансмісії приділяють особливу увагу стану шарнірів, що з'єднують окремі її ділянки, вузлів кріплення трансмісії уздовж хвостової балки і змащенню підшипників. Підходи для огляду хвостового вала трансмісії і його опор, для змащення шарнірних з'єднань вала обмежені, що ускладнює їх ТО.

### 10.3. Характеристика регулювальних робіт несучого гвинта і системи керування вертольотом

Система керування вертольотом відрізняється від літакової і передбачає керування НГ (ручка керування спільним кроком, ручка об'єднаного керування «Шаг-Газ», ручка поздовжнього і поперечного керування, за допомогою якої змінюється положення тарілки автомата перекосу), керування хвостовим гвинтом і стабілізатором одnogвинтового вертольота. Для створення закономірності зміни зусиль на ручці при зміні режиму польоту і для зняття зусиль із ручки пілота слугують пружинні механізми. Демпфери (гідравлічні або інерційні) гасять вібрації, що надходять від НГ до ручки керування.

Регулювальні роботи несучої системи проводять у випадках, коли з'являється тряска вертольота, «водіння» ручки керування циклічним кроком, а також після заміни агрегатів несучої системи, відповідно до програми ТО тощо. Причинами тряски і «водіння» ручки керування можуть бути: відхилення тримерних пластин; відхилення в регулюванні демпфера; порушення співконусності.

1. Демпфер для гасіння коливань лопаті НГ щодо вертикального шарніра може бути двох типів – фрикційний і гідравлічний. Перевірка затягування демпферів полягає у вимірюванні динамометром зусилля переміщення лопаті від переднього упору до заднього, і назад. Різниця зусиль між окремими лопатями не повинна перевищувати 5 Н, а саме зусилля, що заміряється, на певному радіусі лопатей задається технічними умовами.

2. Найбільш трудомісткими є роботи з усунення неспівконусності НГ. Рух лопатей НГ називається співконусним, якщо всі лопаті рухаються по поверхні одного і того ж конуса. Порушення співконусності при фіксованому положенні органів керування, як правило, є наслідком нерівності аеродинамічних сил окремих лопатей, яке призводить до зміщення рівнодіючої тяги НГ від осі обертання і викликає тряску вертольота.

Нерівність аеродинамічних характеристик лопаті усувається зміною установчого кута лопаті (шляхом зміни довжини вертикальної тяги повороту лопаті) і зміною кута згину тримерів.

Існує кілька методів визначення співконусності лопатей. На легких вертольотах – за допомогою паперового «прапора», закріпленого на кінці спеціальної штанги. «Прапор» зі штангою підводиться до НГ, що обертається. При зіткненні з лопатями на паперовому «прапорі» залишаються смуги в місцях торкання його кінців лопатей (або закріплених на них пензликів), пофарбованих у різні кольори. За розкидом відбитків судять про ступінь співконусності. Недоліки методу: можливість пошкодження лопатей штангою, низький рівень техніки безпеки. Переваги: точність, мала трудомісткість.

Співконусність на важких вертольотах визначають фотографуванням кінців лопатей при обертанні гвинта (на землі і в польоті) за допомогою спеціального фотоапарата, встановленого під кутом до осі обертання гвинта. Відносне положення зображень кінців лопатей на фото свідчить про ступінь співконусності. Переваги методу – висока культура методу, можливість спостереження конуса при різних швидкостях польоту вертольота.

Перевірка співконусності може проводитися також за допомогою фотоелемента. Фотоелементи встановлюють на кожній лопаті і мають електричний зв'язок з осцилографом. При проходженні освітлювальної штанги у фотоелементі генерується сигнал, який залишає позначку на екрані осцилографа. Протяжність позначки визначається довжиною дуги, утвореної між відповідними точками похилих штанг.

Якщо співконусність порушена, то кінці різних лопатей проходять повз штанги на різних рівнях, довжина дуг траєкторії різних лопатей між штангами буде різною і, отже, різною довжина відміток на екрані осцилографа. Недоліки методу – складність і громіздкість застосовуваного обладнання.

Регулювальні роботи по системах керування вертольотом передбачають: регулювання керування спільним кроком, поздовжнього і поперечного керування вертольотом, керування КГ і керування стабілізатором.

3. Регулювання системи керування спільним кроком полягає у встановленні відповідності положення ручки загального кроку з положенням повзуна автомата перекосу і кутами відхилення

лопаті НГ. Домагаються також відповідності показань покажчика загального кроку і ходу повзуна автомата перекоосу.

4. Регулювання поздовжнього і поперечного керування проводиться з метою досягнення відповідності положення ручки керування циклічним кроком з кутами нахилу кільця автомата перекоосу. Для здійснення даної роботи застосовують спеціальні пристосування, що фіксують ручку керування циклічним кроком у необхідному положенні, пристосування для устанавлення кутоміра і оптичний кутомір. Регулювання полягає в устанавленні ручки керування циклічним кроком у нейтральне положення і фіксації її спеціальним пристосуванням. При нейтральному положенні ручки керування циклічним кроком перевіряють кут нахилу автомата перекоосу в поздовжньому і поперечному напрямках.

Після перевірки нейтрального положення проводиться регулювання крайніх положень ручки вперед-назад, вліво-вправо. Кожному із цих положень ручки циклічного кроку повинні відповідати певні кути нахилу автомата перекоосу.

5. Регулювання системи керування КГ виконується з метою досягнення відповідності положення педалей керування з кутами відхилення лопатей КГ. Для цього педалі керування встановлюють у нейтральне положення і фіксують. Перевіряється вихід штока гідропідсилювача і штока хвостового редуктора. Далі перевіряється відповідність положення педалей і кутів відхилення лопатей КГ. Регулювання керування стабілізатором зводиться до перевірки відповідності стану ручки «Шаг-Газ» і кутів нахилу стабілізатора.

#### 10.4. Особливості експлуатації силових установок на вертольотах

У сучасних вертолітних СУ переважно використовують ГТД з вільною турбіною і ПД з примусовим повітряним охолодженням. Технічне обслуговування СУ має низку особливостей, зумовлених здебільшого конструктивними відмінностями (розміщенням двигуна на вертольоті, наявністю редукторів і трансмісії, примусового охолодження) і більш жорсткими режимами експлуатації.

Устанавлення двигунів на вертоліт відрізняється від устанавлення літакових двигунів тим, що на вертольоті має бути передбачено певне положення двигунів щодо редуктора з урахуванням можливої деформації фіюзеляжу в польоті.

На вертольотах, оснащених ПД, регулювання співвідношення двигуна і редуктора виконують шляхом зміни зусилля затягування болтів кріплення головного вала до фланців двигуна і редуктора. Замірювання співвідношення здійснюється по фланцях еластичної муфти за допомогою індикаторного пристосування.

Головний редуктор на вертольоті є найбільш навантаженим агрегатом трансмісії. Тому при ТО трансмісії особлива увага приділяється контролю за наявністю, витратою, температурним режимом і чистотою мастила в мастильній системі головного редуктора. Зміна стану мастила є найбільш інформативним параметром роботи головного редуктора. Так, наявність коксу в мастилі свідчить про перевищення температурного режиму, наявність стружки – про підвищений знос деталей редуктора. На сучасних СУ вертольотів застосовують системи сигналізації появи стружки, які сповіщають про початок руйнування деталей трансмісії двигуна і редуктора.

Застосування примусової системи охолодження двигуна зумовлює підвищені вимоги до стану дефлекторів обдування і ПЧ вентилятора, до системи керування обдуванням. Порушення системи охолодження може привести до зміни температурного режиму, появи місцевих перегрівань і відмови двигуна.

Оскільки вертолітні СУ експлуатуються в умовах підвищених вібрацій, при їх дефектації необхідно особливу увагу приділяти стану різьбових з'єднань і їх контруванню, герметичності комунікацій.

На режимі висіння поблизу землі або під час роботи на землі у вітряну погоду можливо закидання вихлопних газів на вхід двигунів, що викликає підвищення температури повітря. Це пояснюється розмивом струменя вихлопних газів із двигунів зустрічним вітром і наступним перемішуванням розмитих газів з повітряними потоками від НГ. Тому при запуску і випробуванні ГТД необхідно розташовувати вертоліт проти напрямку вітру. Таке саме орієнтування вертольота необхідно для запобігання ударів лопатей НГ об хвостову балку при їх розкручуванні.

Випробування двигунів навіть на пришвартованому вертольоті потребує особливих навичок, тому необхідно пам'ятати, що до випробування двигуна вертольота допускаються особи інженерно-технічного складу після спеціального навчання і отримання відповідного допуску.



Запуск вертолітного ПД здійснюється при вимкненій трансмісії (без навантаження), і для запобігання надмірного перевищення частоти обертання необхідний ретельний контроль стану важелів коригування і «Шаг-Газ», які повинні перебувати в положенні, що відповідає режиму МГ.

Експлуатація вертольотів в умовах майданчиків з сильною запиленістю викликає підвищений знос ПЧ ГТД, що досить швидко призводить до погіршення їх характеристик, зменшення потужності, збільшення питомих витрат палива, а в деяких випадках – до виходу двигунів з ладу. Тому необхідно з особливою ретельністю проводити огляд вхідних пристроїв ГТД і спеціальних датчиків зносу під час експлуатації вертольотів в умовах запилених аеродромів.

### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. Які особливості конструкції і льотної експлуатації вертольотів?
2. Поясніть вимушені вібрації вертольота від збуджувальних сил.
3. Що таке явище земного резонансу вертольота?
4. Назвіть причини, що сприяють виникненню земного резонансу вертольота.
5. Розкажіть про автоколивання вертольота в польоті і флатер лопатей.
6. У чому особливості умов експлуатації несучої системи вертольота і її ТО?
7. Назвіть основні роботи при ТО лопатей НГ.
8. Охарактеризуйте регулювальні роботи по НГ і системі керування вертольотів.
9. Як відбуваються перевірка і усунення неспівконусності НГ?
10. У чому суть регулювання керування НГ і РГ вертольота?
11. Які особливості ТО редукторів і трансмісії вертольота?

## **Розділ 11**

### **ВІДНОВЛЕННЯ ЛЬотної ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

На сучасному етапі розвитку технічного прогресу в умовах постійно зростаючих цін на продукцію авіабудування питанням підтримання і відновлення льотної придатності ПС надається винятково важливе значення. Ключове місце щодо вирішення цього завдання належить ремонту.

Своєчасний і якісний ремонт дозволяє запобігти виникненню несправностей і відмов, продовжити ресурс, забезпечує можливість безпечної експлуатації ПС протягом усього призначеного, як правило, тривалого строку служби. Підвищення ефективності і якості ремонту діючого парку, освоєння ремонту нових типів ПС і авіаційних двигунів, упровадження нових прогресивних технологічних процесів ремонту потребують вжиття комплексу організаційно-технічних і технологічних заходів щодо підготовки авіаремонтного виробництва. Головне завдання підготовки ремонту та наступного удосконалення ремонту полягає у виборі найефективніших, науково обґрунтованих способів і технологій ремонту, визначенні оптимальних принципів і методів організації виробничого процесу та методів організації праці.

#### **11.1. Характерні дефекти деталей і елементів конструкцій повітряних суден і авіаційних двигунів**

У попередніх розділах вже частково розглянуто пошкодження компонентів ПС, але, розглянемо докладніше природу виникнення пошкоджень та дефектів.

Одне із головних завдань ремонту ПС полягає в усуненні дефектів і відновленні працездатного стану та ресурсу об'єктів ремонту.

Дефекти деталей та вузлів компонентів ПС за походженням поділяють на конструктивні, виробничі, експлуатаційні та дефекти зберігання. Експлуатаційні дефекти та дефекти, що виникають під час зберігання, усувають у процесі ремонту шляхом відповідних технологічних ремонтних впливів, які забезпечують надання деталям і конструктивним елементам попередньо наданих якісних характеристик та властивостей. Дефекти конструктивно-виробничого походження усувають шляхом виконання під час ремонту

необхідних доопрацювань і модернізацій, що проводяться відповідно до бюлетенів розробника та заводу-виробника.

Серед експлуатаційних дефектів найнебезпечнішими є дефекти втомного руйнування, що розвиваються в часі під дією циклічно змінних напружень. При втомі відбуваються незворотні зміни структури і властивостей матеріалів, які призводять до зародження, розвитку тріщин і руйнування. В умовах циклічного навантаження працюють більшість відповідальних деталей і конструктивних елементів ПС і АД, тому втома є одним з основних чинників, що обмежує їх ресурс.

Натепер існують різні теорії щодо фізичної природи втомного руйнування. Найбільш прийнятною вважається теорія вакансійно-дислокаційного механізму зародження мікротріщин. Сам процес нагромадження втомних пошкоджень необхідно розглядати як монотонний стохастичний процес, середня швидкість якого зменшується з часом.

Розрізняють малоциклову і багатоциклову втому. За малоциклової втоми руйнування відбувається за порівняно невеликої кількості циклів навантаження, яка в більшості випадків не перевищує  $N = 10^2 \dots 10^5$ . Руйнування при цьому розвивається на тлі значних пружно-пластичних деформацій.

За багатоциклової втоми руйнування розвивається без помітних слідів пластичної деформації, якщо кількість циклів навантаження  $N > 10^5$ . Типову криву втоми (криву Велера), яка показує залежність кількості циклів до руйнування  $N$  від максимального напруження циклу  $\sigma$  за симетричного знакозмінного циклу (побудовану в логарифмічних координатах для вуглецевої сталі), показано на рис. 11.1.

Якщо кількість циклів  $N > N_0$  (для сталей  $N_0 \sim 10^6 \dots 10^7$ ), крива має горизонтальну ділянку і матеріал може витримувати необмежену кількість циклів без руйнування. Максимальне напруження циклу, яке не спричиняє втомного руйнування, називають фізичною границею втоми.

Області  $N < N_1$  ( $N_1 \sim 10^3 \dots 10^4$ ) відповідає малоциклове втомне руйнування. Малоциклова втома характеризується значними ефектами зміцнення та розміцнення металу за рахунок інтенсивної пластичної деформації, яка відбувається за високих напружень циклу змінного навантаження.

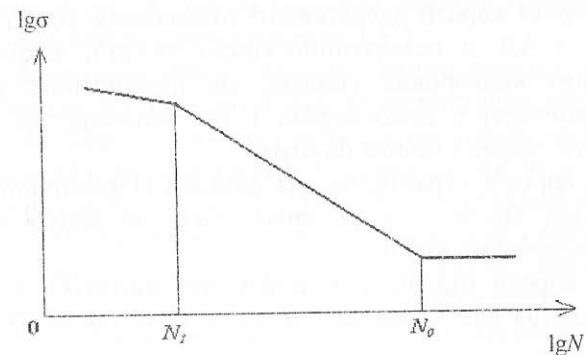


Рис. 11.1. Типова крива втоми для вуглецевої сталі

Не залізни конструкційні сплави, такі як алюмінієві, магнієві, титанові, хромонікелеві, а також сплави на основі заліза за високих температур і в агресивних середовищах не мають фізичної границі втоми і їх втомне руйнування розвивається також за умови, що  $N > N_0$ . Опір матеріалів втомі в такому випадку оцінюють обмеженою границею втоми, яка визначається на базі випробувань  $N = 10^7 \dots 10^8$  циклів.

Значному зниженню циклічної міцності та відповідно підвищенню ймовірності втомного руйнування деталей і елементів конструкцій ПС і АД сприяють корозійні пошкодження. Існує декілька класифікацій корозії: за фізико-хімічним механізмом процесу взаємодії металу і середовища; за характером зовнішнього середовища та за характером зовнішнього прояву корозійного руйнування.

За фізико-хімічним механізмом процесу взаємодії металу і середовища розрізняють хімічну і електрохімічну корозію. Хімічна корозія зумовлюється взаємодією металу із зовнішнім середовищем за механізмом хімічних реакцій. Розвиток електрохімічної корозії пов'язаний із процесами електролізу, який виникає на поверхні металів за наявності вологи, водного розчину солей та інших електролітів.

За характером зовнішнього середовища розрізняють атмосферну корозію, корозію в середовищі робочих рідин (рідинна корозія) та газову корозію.

Атмосферній корозії здебільшого піддаються деталі відкритих частин ПС і АД із некорозійностійких сталей, алюмінієвих та деяких інших кольорових сплавів, які перебувають у безпосередньому контакті з атмосферою і які зазнають дії вологи та забрудненого газом і пилом повітря.

Рідинна корозія характерна для деталей гідравлічної, паливної та мастильної систем і спричинена дією на метал агресивних компонентів робочих рідин.

Газовій корозії піддаються деталі, які містяться в атмосфері гарячого повітря або атмосфері гарячих газів продуктів згоряння палива.

За характером зовнішнього прояву корозійного руйнування виділяють рівномірну корозію, місцеву корозію, структурно вибірккову і міжкристалічну корозію. Останній вид корозії щодо впливу на міцність деталей є найнебезпечнішим. Міжкристалічній корозії піддаються хромисті та хромонікелеві сплави, а також сплави алюмінію, які широко застосовуються в конструкції ПС і АД.

Механізм виникнення міжкристалічної корозії пов'язують із структурними змінами, що відбуваються на межах зерен, особливо під час термічного оброблення і зварювання. Так, міжкристалічна корозія аустенітних сталей є наслідком збіднення хромом меж зерен аустеніту, що пов'язано зі зміною розчинності в аустеніті вуглецю за різних температур. В агресивному середовищі збіднені хромом межі зерен інтенсивно розчиняються за механізмом електрохімічної корозії, що призводить до втрати міжзеренного зчеплення, а отже, до зниження міцності сталі.

У алюмінієвих сплавах з умістом міді близько 4 %, які для досягнення високої міцності піддаються спеціальному термічному обробленню, старінню, по межах зерен виділяються інтерметаліди  $\text{CuAl}_2$ . Утворення  $\text{CuAl}_2$  супроводжується збідненням меж зерен міддю, результатом чого стає інтенсивне міжкристалічне руйнування сплавів в агресивному середовищі.

До окремого виду втоми належить термічна втома, під якою розуміють виникнення тріщин і руйнування матеріалів під дією циклічних термічних напружень. Головною причиною виникнення термічних напружень є опір термічному розширенню та градієнти температур, що виникають у деталях та конструктивних елементах унаслідок зміни температурного режиму експлуатації. Термічної

втоми зазнають диски, робочі і соплові лопатки турбіни, елементи ЖТ КЗ та інші деталі гарячої частини ГТД.

Аналіз фізичної природи термічної втоми показує, що пошкодження матеріалу під дією циклічних температурних напружень, як і у випадку звичайної механічної втоми, є наслідком нагромадження дефектів кристалічної ґратки та утворення і розвитку мікротріщин.

На деталі гарячої частини ГТД, поряд з дефектами від термічної втоми, під дією високих температур, теплосмін і високотемпературного газового потоку продуктів згоряння палива можуть накладатись такі дефекти, як залишкова деформація і руйнування від повзучості, жолоблення, дефекти від високотемпературної газової корозії і ерозії.

Повзучість і руйнування від повзучості здебільшого зазнають диски, робочі та соплові лопатки газових турбін ГТД. Крім прямого прояву, повзучість може також викликати опосередковане руйнування деталей. Так, відомі випадки, коли внаслідок «вибирання» передбачених зазорів між робочими лопатками і корпусом турбіни в результаті повзучості матеріалу лопаток і дисків відбувалось руйнування лопаток. Наслідком повзучості може бути релаксація напружень у болтових з'єднаннях і з'єднаннях з натягом, що призводить до втрати щільності з'єднань і виникнення додаткових непередбачених навантажень.

Основна характеристика повзучості – це умовна межа повзучості  $\sigma'_{0,2}/\tau$ , яка визначається напруженням, що викликає величину залишкової деформації 0,2 % за час  $\tau$  за температури  $t$ , а основною розрахунковою характеристикою на міцність конструктивних елементів, що піддаються тривалому статичному навантаженню за підвищених температур, є границя тривалої міцності  $\sigma_s/\tau_p$  – напруження, яке спричиняє руйнування через час  $\tau_p$  за постійної температури. Загалом час до руйнування, як і час до нагромадження заданої залишкової деформації повзучості, описується логарифмічним нормальним законом розподілу, а величина часу до руйнування визначається таким співвідношенням:

$$\tau_p = \frac{A}{\sigma^m}$$

де  $A, m$  – константи для матеріалу і температури.

Типовими дефектами від газової корозії є дефекти на кшталт «пропалення», які найбільш характерні для тонкостінних деталей,

таких як, наприклад, ЖТ, КЗ. При дефектації деталей гарячої частини ГТД особлива увага приділяється наявності ознак сульфідно-оксидної корозії робочих і соплових лопаток турбіни, виготовлених із жароміцних нікелевих сплавів. Причиною розвитку сульфідно-оксидної корозії є наявність у продуктах згоряння лужних металів і сірки. Пошкодження сульфідно-оксидною корозією можуть проникати на значну глибину, що призводить до окрихчування, утворення тріщин і руйнування лопаток.

Газова ерозія зумовлюється дією на поверхню металу високошвидкісного газового потоку і є одним із найпоширеніших видів ерозійного руйнування конструктивних елементів АД. Газової ерозії зазнають поверхні робочих і соплових лопаток турбін, ЖТ КЗ, деталі газоуловлювачів, елементи подовжувальних труб, СА, систем реверсу тяги і шумопоглинання ГТД.

У поршневих АД газова ерозія є причиною виникнення дефектів на сідлах і клапанах механізму газорозподілення, вихлопних патрубках, а також є істотною складовою зносу поршневих кілець, поршня і дзеркала циліндра.

Інтенсивність газової ерозії підсилюється дією високих температур і хімічно-активних компонентів газового середовища. Залежно від співвідношення розмірів деталі і діючого газового потоку, напрямку потоку, характер руйнування поверхні може бути у вигляді різної форми і розміру поздовжніх борозн, спрямованих у напрямку потоку, або окремих локальних руйнувань, що розвиваються перпендикулярно потоку.

Особливо інтенсивне ерозійне руйнування і зношування поверхні металів відбуваються за наявності в газовому потоці твердих абразивних частинок. Основними кінематичними параметрами, які визначають характер руйнування та інтенсивність зношування, є кінетична енергія і кут падіння абразивних частинок на поверхню. За нормального удару, коли вектор швидкості частинок напрямлений перпендикулярно поверхні деталі, зносостійкість поверхні визначається опором мікрооб'ємів поверхневого шару втомному, полідеформаційному і крихкому руйнуванню, а також здатністю матеріалу поглинати кінетичну енергію удару частинок за рахунок пружної деформації. Якщо кути падіння (кути атаки) частинок на поверхню гострі, величина їх ударного імпульсу знижується. Матеріал пошкоджується шляхом зрізання і відривання з поверхні дрібних частинок з утворенням подряпин.

Газаабразивного зношування під ударною дією твердих частинок, що містяться у набіглому потоці повітря, зазнають передня кромка крила і хвостового оперення літаків, елементи механізації крила, що випускаються під час посадки, лопаті НГ гелікоптерів і ПГ літаків з ТГвД та літаків з ПД, деталі повітрозбірників і конструктивних вузлів ПЧ ГТД.

Під час експлуатації на різних деталях і елементах конструкцій ПС і АД під дією ударних та надмірно високих статичних і циклічних навантажень можуть виникати також такі дефекти механічного походження, як залишкова деформація, об'ємні руйнування, забоїни, сколи, механічні нагартування тощо.

Так, наприклад, значна залишкова деформація може виникати на елементах конструкції планера літака у разі потрапляння в зону високої турбулентності і здійснення «грубої» посадки; забої і сколи елементів ПЧ ГТД у випадку потрапляння сторонніх предметів; поверхневі дефекти деталей унаслідок механічного нагартування через послаблення болтових з'єднань та надмірне збільшення зазору в результаті зношування деталей спряжень. Такі дефекти належать передусім до непередбачуваних важкопрогнозованих дефектів, які зумовлені виникненням «нештатних» ситуацій або порушенням нормальних режимів роботи деталей.

Більшість важконавантажених і відповідальних деталей та елементів конструкції ПС і АД з дефектами втомного та термовтомного походження, глибокими корозійними і механічними пошкодженнями, значною залишковою деформацією належать до невідновлюваних об'єктів.

Багаторічний досвід ремонту та аналіз результатів оцінювання ТС ПС і АД за останні роки свідчать, що в загальній кількості дефектів деталей ПС і АД значне місце посідають дефекти трибологічного походження, пов'язані з різного виду пошкодженням та зносом контактних поверхонь деталей вузлів тертя. Такі дефекти притаманні основному масиву деталей, які під час ремонту підлягають відновленню, а також становлять один з головних видів дефектів, які спричиняють виникнення несправностей і відмов ПС у процесі експлуатації.

Узагальнені дані кількісного розподілу деталей за видом експлуатаційних дефектів, отримані за результатами дефектації під час ремонту середньомагістральних літаків з ТГвД сімейства Ан,

показано на рис. 11.2 і 11.3. Під час проведення аналізу за кожним об'єктом ПС враховувались лише ті дефекти, які стали причиною забракування деталей і мали високий відсоток повторюваності. Кількісне оцінювання проводилося за коефіцієнтом пошкоджуваності:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^K n_i}{N},$$

де  $\sum_{i=1}^K n_i$  – кількість пошкоджених деталей за  $i$ -м дефектом;  
 $N$  – загальна кількість пошкоджених деталей конструкцій.

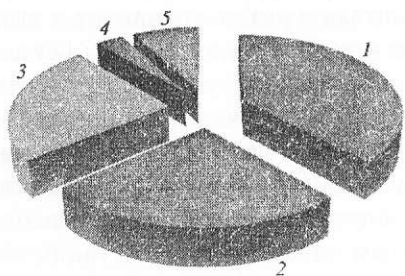


Рис. 11.2. Діаграма кількісного розподілу деталей за видами експлуатаційних дефектів на літаках: 1 – тріщини, руйнування (38,20 %); 2 – корозія (26 %); 3 – дефекти зношування (14,40 %); 4 – деформація (3,30 %); 5 – інші (8,10 %)

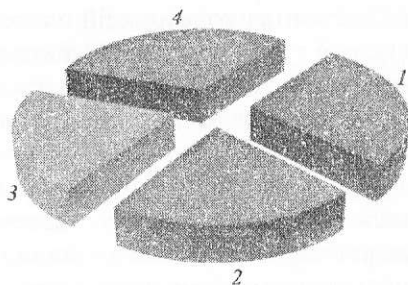


Рис. 11.3. Діаграма кількісного розподілу деталей за видами експлуатаційних дефектів на ГТД: 1 – дефекти зношування (27 %); 2 – механічні нагартування, забоїни, сколи (21,6 %); 3 – тріщини руйнування (21,3 %); 4 – інші (30,1 %)

Як видно з рис. 11.3, у групі літаків частка деталей, виникнення дефектів яких зумовлено зношуванням, становить близько 25 % і у загальній кількості дефектних деталей посідає третє місце після деталей з такими дефектами, як тріщини, руйнування та корозія.

У загальній кількості дефектних деталей ГТД деталі з дефектами зношування становлять близько третини.

Характерною особливістю конструктивного виконання і умов роботи деталей вузлів тертя конструкцій ПС і АД є велика різноманітність матеріалів і поєднання матеріалів у парах тертя,

геометрії контакту та умов фрикційно-контактного навантаження. Для надання робочим поверхням деталей і парам тертя необхідних триботехнічних властивостей застосовуються різні способи поверхневого оброблення і захисні покриття, способи мащення, види та асортимент мастильних матеріалів.

За встановленими класифікаційними ознаками у вузлах тертя авіаційних конструкцій реалізуються майже всі види зовнішнього тертя і види зношування контактних поверхонь. Зношуються як деталі рухомих, так і номінально нерухомих з'єднань. При цьому не тільки змінюються розміри деталей, але і мікро- та макрогеометрія поверхонь трибоконтакту, структура і фізико-механічні властивості поверхневого шару матеріалів трибопар. Усі ці процеси порушують умови нормального функціонування і призводять до втрати працездатності деталей вузлів тертя.

## 11.2. Особливості організації і технології ремонту

Завдяки досягненням науки, техніки і технології у галузі літако- та авіадвигунобудування сучасні ПС і АД мають високий рівень надійності і відповідно високі ресурси.

Водночас яким би досконалим не було б конструктивне і технологічне забезпечення надійності та працездатності окремих частин і загалом ПС та АД, у процесі експлуатації через об'єктивні причини, такі як процеси старіння матеріалів, зношування, корозії, нагромадження втоми, змінюються форма і розміри робочих поверхонь деталей, порушуються їх взаємне розташування та початково встановлені зазори і натяги в спряженнях, втрачаються пружність, міцність та інші властивості матеріалу деталей, виникають різного виду пошкодження і дефекти.

У певний момент часу настає такий стан, коли в результаті втрати працездатності функціональних елементів наступна експлуатація ПС, АД або їх окремих систем і агрегатів стає неможливою або економічно недоцільною.

Стан, коли наступна експлуатація машини стає неможливою або економічно недоцільною, називається граничним станом. У разі досягнення граничного стану машина втрачає працездатність, стає несправною і її експлуатація повинна бути припинена.

Під працездатним станом розуміють такий стан об'єкта (машини, вузла, агрегату), за якого значення всіх параметрів, що

характеризують здатність виконувати об'єктом задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Несправний стан (несправність) – це такий стан об'єкта, за якого значення хоча б одного з параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Подія, яка полягає у порушенні справного стану об'єкта зі збереженням працездатного стану, називається пошкодженням.

Подія, за якої частково або повністю порушується працездатний стан, називається відмовою.

Щоб оцінити стан деталей, використовують термін «дефект», під яким розуміють кожну окремо взятую невідповідність стану виробу (деталі) вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Для попередження виникнення несправностей і відмов, підтримання та відновлення працездатного стану ПС протягом експлуатації у період всього призначеного ресурсу або терміну експлуатації воно повинно проходити різні форми технічного обслуговування і ремонту.

Технічне обслуговування має профілактичний характер. Головним завданням ГО ПС є запобігання виникненню дефектів, несправностей і відмови та підтримання необхідного рівня її надійності.

Під ремонтом розуміють комплекс організаційно-технічних і технологічних робіт, які виконують з метою усунення дефектів і відновлення справного або працездатного стану і ресурсу виробу або його окремих частин.

Ремонту підлягають вироби, зокрема ПС, АД або їх агрегати, які зняті з експлуатації внаслідок відпрацювання ресурсу, або в результаті пошкодження чи дострокового зносу.

Із наведеного визначення ремонту випливає, що призначенням ремонту ПС є відновлення справного або працездатного стану ПС, АД, або їх окремих вузлів, агрегатів чи систем із забезпеченням можливості їх безпечної експлуатації протягом наступного міжремонтного ресурсу та строку служби.

На практиці розрізняють такі види ремонту:

- поточний;
- капітальний.

Завданням поточного ремонту є забезпечення та підтримання справності ПС протягом відпрацювання міжремонтного ресурсу. Поточний ремонт виконують силами експлуатанта, для чого в його складі передбачено цех (дільницю) поточного ремонту або організацію з технічного обслуговування ПС та його компонентів, схвалена за Part-145 EASA. Під час поточного ремонту несправності усувають регулюванням, заміною або відновленням окремих деталей, вузлів і агрегатів за умови, що всі інші частини ПС чи АД, які не досягли граничного стану, мають запас ресурсу не менший, ніж до наступного ремонту.

Капітальний ремонт виконують для відновлення справного стану і повного (або близького до повного) відновлення ресурсу виробу.

Комплекс робіт, які виконують під час капітального ремонту, характеризується повним розбиранням ПС і АД, перевіркою ПС всіх складових частин і деталей, у тому числі базових, заміною всіх зношених деталей і частин новими або відремонтованими з наступним складанням, обкатуванням, комплексним випробуванням і регулюванням окремих частин, складанням, обкатуванням і випробуванням усього виробу загалом.

Капітальний ремонт ПС, як правило, виконується на спеціалізованих авіаремонтних підприємствах. Останнім часом практикується виконання всіх видів ремонту заводом-виробником ПС.

Оскільки капітальний ремонт являє собою найбільш складний і трудомісткий процес, надалі насамперед розглядатимемо цей вид ремонту.

Проведення капітальних ремонтів поряд з відновленням льотної придатності ПС і АД дає можливість:

- запобігати передчасному і непередбачуваному виникненню відмов і несправностей;
- використовувати повну довговічність багатьох деталей і загалом ПС і АД, яка закладена під час їх проектування та виготовлення;
- забезпечувати необхідний рівень надійності ПС для відпрацювання наступного міжремонтного ресурсу;
- підвищувати економічну ефективність використання ПС.

У сучасних умовах ринкової економіки підвищення ефективності авіатранспортної галузі потребує більш інтенсивного використання ПС і АД, тобто зведення до мінімуму всіх їх простоїв, у тому числі простоїв, пов'язаних з виконанням ремонту.

Тому зменшення терміну перебування ПС і АД у ремонті і забезпечення високої якості ремонту є важливим техніко-економічним завданням авіаремонтних підприємств. Наприклад, стосовно АД середньомагістральних пасажирських літаків тривалість перебування в ремонті двигуна не повинна перевищувати 5–8 діб. Наднормативне перебування двигуна в ремонті призводить до збільшення парку двигунів, призначених для обслуговування конкретного типу літаків.

Жорсткі вимоги до терміну і якості ремонту потребують відповідної організації всієї системи планування, підготовки й організації виробничого і технологічного процесів ремонту.

Важливим чинником в організації ремонтного виробництва є упроваджена система ремонту.

Системою ремонту називається комплекс організаційно-технологічних положень і норм, які визначають організацію і порядок проведення робіт з ремонту ПС та забезпечення передбачених нормативно-технологічною документацією показників якості та ефективності ремонту.

Стосовно ПС можна виокремити чотири системи ремонту:

- планово-попереджувального ремонту;
- встановлених ремонтів;
- обслуговування і ремонту за фактичним ТС;
- за оптимальними техніко-економічними показниками.

Основними вимогами, які ставляться до будь-якої системи ремонту ПС, є забезпечення у результаті ремонту необхідного рівня надійності, а, відповідно, і БП та ресурсу відремонтованого ПС і АД, мінімально можливої тривалості перебування їх у ремонті та вартості ремонту.

Аналіз нормативно-технічних положень і принципів, покладених в основу систем ремонту ПС, показує, що кожна із цих систем щодо забезпечення нормативно-технічних показників ефективності ремонту має свої переваги і недоліки.

Відповідно до планово-попереджувальної системи ремонту ремонт має профілактичний характер і виконується з метою попередження виникнення несправностей і відмов. Повітряному судну і АД призначаються ресурси до першого капітального ремонту і наступні міжремонтні ресурси, які встановлюють за найбільш «слабкими» місцями, тобто за тими деталями і вузлами,

на яких найшвидше розвиваються процеси, що призводять до втрати їх працездатності і які є найбільш імовірними частинами виникнення несправності та відмови ПС і АД.

При цьому маються на увазі такі складові частини ПС і АД, або їх окремих вузлів чи агрегатів, усунення дефектів і несправностей яких не може бути виконано в умовах експлуатаційних підприємств через великий обсяг демонтажно-монтажних робіт, регулювань, випробувань або відсутність спеціального обладнання.

Перевагою системи планово-попереджувального ремонту є те, що ця система забезпечує підтримання необхідного рівня надійності АТ, оскільки у процесі ремонту об'єкт ремонту підлягає повному розбиранню, а всі його частини – технічному контролю. Істотний недолік системи планово-попереджувального ремонту – великий обсяг ремонтних робіт, насамперед демонтажно-монтажних, а звідси висока вартість і простої ПС і АД у ремонті.

Система планово-попереджувального ремонту часто замінюється системою встановлених ремонтів, яку також називають системою ремонту за напрацюванням. За цією системою весь обсяг капітального ремонту розбивається на декілька етапів (як правило, не більше чотирьох).

Етапи ремонтів поділяють за напрацюванням через деякі, наперед визначені проміжки часу. На кожному етапі виконується певний, заздалегідь передбачений обсяг постійних ремонтних робіт, який не залежить від ТС об'єкта ремонту, і група змінних робіт, які залежать від виявлених несправностей і дефектів. Оскільки зі збільшенням напрацювання закономірно збільшується потік дефектних деталей, обсяг ремонтних робіт на кожному наступному етапі стає більшим, ніж на попередньому. Ремонтні роботи, виконані на всіх етапах, складають повний обсяг робіт капітального ремонту.

Систему встановлених ремонтів найбільш широко застосовують під час ремонту ПС. Перевагою цієї системи, порівняно з планово-попереджувальною системою, є те, що на кожному етапі виконання ремонту обсяг демонтажно-монтажних, контрольних робіт і робіт, пов'язаних з відновленням деталей та випробуванням об'єкта ремонту, визначається тільки тими несправностями і дефектами, поява яких на певному етапі об'єктивно можлива або виявлена.

Застосування системи встановлених ремонтів дає змогу збільшити сумарний міжремонтний ресурс ПС, скоротити термін

простою ПС у ремонті, а також сумістити деякі форми ТО з ремонтом. Разом з цим ця система ремонту потребує наявності інформації про закономірність виникнення дефектів та несправностей.

Системи планово-попереджувального і встановлених ремонтів натепер уже не можуть задовольняти сучасні вимоги, насамперед вимоги економічної ефективності використання ПС. Для цих систем ремонту характерним є те, що напрацювання до чергового ремонту задається заздалегідь і не враховує ТС конкретного виробу. За такого підходу частина ПС може направлятися у ремонт з неповністю використаним ресурсом, коли її ТС ще не потребує ремонту. Тому більш економічно доцільною є система ремонту за фактичним ТС, яка останнім часом набуває дедалі більшого поширення як для ремонту ПС, так і для інших машин.

Відмітною ознакою системи ремонту за фактичним ТС є те, що ТС кожного конкретного об'єкта оцінюється у процесі експлуатації і ремонт проводиться при досягненні ним деяких установлених параметрів граничного стану. У цьому випадку ресурси до першого ремонту і наступні міжремонтні ресурси не призначаються. Оскільки вихід виробу в ремонт визначається не за напрацюванням, а за його ТС, то ремонт виконується тільки тоді, коли у результаті контролю ТС встановлюється потреба в його виконанні.

Перехід на ремонт за фактичним ТС скорочує обсяг ремонтних робіт, підвищує ефективність використання ПС. Трудомісткість таких робіт зменшується на 25...30 %, необхідна кількість виробів оборотного фонду скорочується більш ніж удвічі. Найбільш ефективною ця система буде тоді, коли на стадії проектування ПС передбачаються і забезпечуються такі показники експлуатаційної надійності та ремонтної технологічності конструкції, як висока живучість усіх деталей і частин, висока контролепридатність конструкції, легкоснімність і взаємозамінність деталей, вузлів та агрегатів. Значну роль при цьому відіграють забезпечення зручних підходів до об'єктів контролю, скорочення кількості об'єктів контролю, наявність прогнозних параметрів, які визначають зміну ТС об'єкта і можливості встановлення достатньої кількості датчиків для їх вимірювання.

Під час проектування та виробництва сучасних ПС і АД дедалі більша увага приділяється їх адаптації до умов обслуговування і ремонту за фактичним ТС. Для цього впроваджуються методи

конструювання ПС за модульним принципом, постійно проводяться наукові дослідження зі створення нових конструкційних матеріалів і захисних покриттів з підвищеними експлуатаційними властивостями, з пошуку прогнозних параметрів для контролю ТС, створення систем автоматизованого контролю.

Але натепер цілком перейти на систему ремонту ПС за фактичним ТС неможливо, оскільки конструкція багатьох типів ПС і АД, що експлуатуються, не відповідають усьому комплексу необхідних вимог.

Через це практичного поширення набула комбінована система, яка отримала назву ремонту за оптимальними техніко-економічними показниками. За цієї системи об'єкт ремонту поділяють на частини. Одну групу частин, які не мають резервування і безпосередньо впливають на БП, ремонтують за планово-попереджувальною системою або системою встановлених ремонтів, другу – за системою ремонту за фактичним ТС, третю – за системою після відмови. Остання система ремонту може застосовуватися тільки для частин, які мають резервування і їх відмова не впливає на БП.

Ремонт ПС виконують завжди за розробленою технологією, яка узгоджена з організацією головного конструктора і заводом-виробником. Залежно від досягнутого технічного рівня авіаремонтного підприємства, особливостей конструкції ПС, кількості виробів, що одночасно ремонтуються, і обсягу виробничої програми авіаремонтного підприємства використовують різні методи організації ремонту.

Ремонт може бути організований за такими методами: індивідуальним, бригадним, бригадно-вузловим, потоковим, потоково-стендовим.

Індивідуальний метод характеризується тим, що виконання технологічних процесів доручається окремим виконавцям. За бригадним методом виконання технологічних процесів доручається бригаді виконавців.

Відповідно до бригадно-вузлового методу групі виконавців доручається виконання ремонту окремих вузлів чи агрегатів.

Потоковий метод організації ремонту ПС ґрунтується на використанні поточкових ліній, які забезпечують узгодження у часі виконання всіх операцій технологічного процесу ремонту в заздалегідь установлений послідовності.



Потоково-стендовий метод – це різновид потокового методу, коли весь комплекс ремонтних робіт поділяється на групи з приблизно однаковою трудомісткістю.

Ці групи робіт виконують на закріплених за ними стендах, на яких встановлюють ПС або АД. Таким чином, кількість однотипних виробів, що одночасно ремонтуються, дорівнює кількості стендів. Після завершення комплексу робіт на одному стенді ПС (АД) переміщується на наступний стенд.

Так, послідовно переміщуючись від одного стенда до іншого, виконується весь цикл ремонтних робіт.

Потоково-стендовий метод дозволяє раціонально розподілити ремонтні роботи, забезпечити повне завантаження обладнання, високу культуру праці та організацію робочих місць.

У практиці авіаремонтного виробництва застосовують такі способи ремонту:

- ремонт заміною пошкоджених деталей, вузлів і агрегатів новими;

- ремонт деталі без установаження на ній додаткових деталей чи без нанесення додаткового матеріалу (наприклад, ремонт деталей усуненням незначних пошкоджень робочої поверхні поліруванням, притиранням, заварюванням тріщин тощо);

- ремонт деталі з установаженням додаткових деталей (наприклад, ремонт за допомогою установаження підсиловальних накладок, уставок тощо);

- ремонт деталі із заміною пошкодженої частини. Пошкоджена частина видаляється, а на її місце встановлюється і приєднується нова (наприклад, ремонт заміною ділянки стрингера, обшивки, жарової труби тощо);

- ремонт деталі з нанесенням додаткового матеріалу (наприклад, відновлення форми і розмірів зношених поверхонь наплавленням, металізацією тощо).

Для відновлення посадки деталей у спряженнях застосовують спосіб ремонтних розмірів. У цей спосіб одну з деталей спряження ремонтують механічним обробленням до усунення дефектів, викликаних зносом, а другу деталь замінюють новою або відновленою з розмірами, необхідними для збереження початково заданої посадки.

Вибір та призначення того чи іншого способу ремонту залежить від конструктивно-технологічних особливостей деталі, її матеріалу,

методів оброблення, виду і розмірів дефекту, вимог, установлених технічними вимогами до ремонту, наявності на підприємстві відповідної виробничо-технологічної бази для виконання ремонту. Перший спосіб дає змогу скоротити простої ПС у ремонті, але значно підвищує собівартість ремонту, оскільки витрати на виготовлення і придбання нових деталей, як правило, більші, ніж витрати на їх відновлення.

У зв'язку з цим одним із головних завдань підвищення економічної ефективності ремонту ПС є розширення номенклатури відновлюваних деталей. Розроблення і проєктування відповідних технологічних процесів є одним із завдань технологічної підготовки авіаремонтного виробництва.

### 11.3. Організаційно-виробнича структура авіаремонтного підприємства.

#### Виробничий і технологічний процеси ремонту

Авіаремонтні підприємства в Україні є головними базовими підприємствами з ремонту ПС і АД. Робота авіаремонтних підприємств тісно пов'язана з діяльністю всієї системи галузі авіаційно-промислового комплексу, цивільної та військової авіації.

Сучасний авіаремонтний завод – це високоорганізоване підприємство, яке складається з виробничих ланок (цехів, дільниць) основного та допоміжного виробництва і ланок управління (відділів, бюро, секторів). Основними чинниками, які впливають на організаційну структуру авіаремонтного підприємства, є:

- конструктивно-технологічна характеристика ПС, що ремонтується на підприємстві;

- масштаб виробництва;

- ступінь спеціалізації та кооперування підприємства з іншими підприємствами;

- ступінь спеціалізації виробництва всередині підприємства.

Техніко-економічна ефективність авіаремонтного виробництва сприяє виконанню загального завдання підвищення ефективності використання ПС.

Виробничий процес ремонту ПС складається з основного (технологічного), допоміжного і обслуговуючого процесів. Технологічний процес визначає профіль авіаремонтного підприємства (його спеціалізацію) і складає основний обсяг трудовитрат у виробництві

(80...85%). До основного (технологічного) процесу належать усі ремонтні роботи, які безпосередньо пов'язані зі зміною стану об'єкта ремонту в процесі перетворення ремонтного фонду в готову продукцію (відремонтоване ПС, АД, вузол, агрегат). Допоміжний процес охоплює роботи, пов'язані з виробництвом необхідного для ремонту спеціального інструменту і оснащення, ремонтом обладнання тощо.

До обслуговуючого процесу належать роботи, пов'язані з організацією і обслуговуванням робочих місць, одержанням і зберіганням матеріалів, заготовок, запасних частин, перевіркою і контролем матеріалів, приладів, інструменту в лабораторіях, енергопостачанням тощо.

Технологічний процес ремонту незалежно від конструктивно-технологічної характеристики об'єкта ремонту і впроваджені системи ремонту завжди виконується у суворій технологічній послідовності, яка містить такі основні етапи (рис. 11.4): приймання ПС у ремонт, попереднє очищення, розбирання, промивання, очищення деталей, визначення ТС (дефектація) деталей, ремонт (відновлення) деталей, виготовлення запасних частин, комплектування на складання, складання вузлів та агрегатів, їх обкатування та випробування, загальне складання, фарбування, випробування, консервування, передавання відремонтованої продукції замовнику або на зберігання.

Для забезпечення безперервності та ритмічності виробництва на авіаремонтному підприємстві необхідна чітка підпорядкованість допоміжних і обслуговуючих виробництв основному (технологічному).

Головний ефект від авіаремонтного виробництва може бути отриманий за рахунок удосконалення технологічного процесу, який є основною частиною виробничого процесу. Головними напрямками удосконалення технологічного процесу ремонту ПС можуть бути: підвищення ефективності організації і керування авіаремонтним підприємством; перспективне планування ремонтного фонду; удосконалення методів та способів діагностування і прогнозування ТС ПС; упровадження нових ресурсозберігаючих технологій; розширення номенклатури деталей, що відновлюються у процесі ремонту; упровадження засобів механізації та автоматизації технологічних процесів; підвищення рівня науково-технічного забезпечення виробництва.

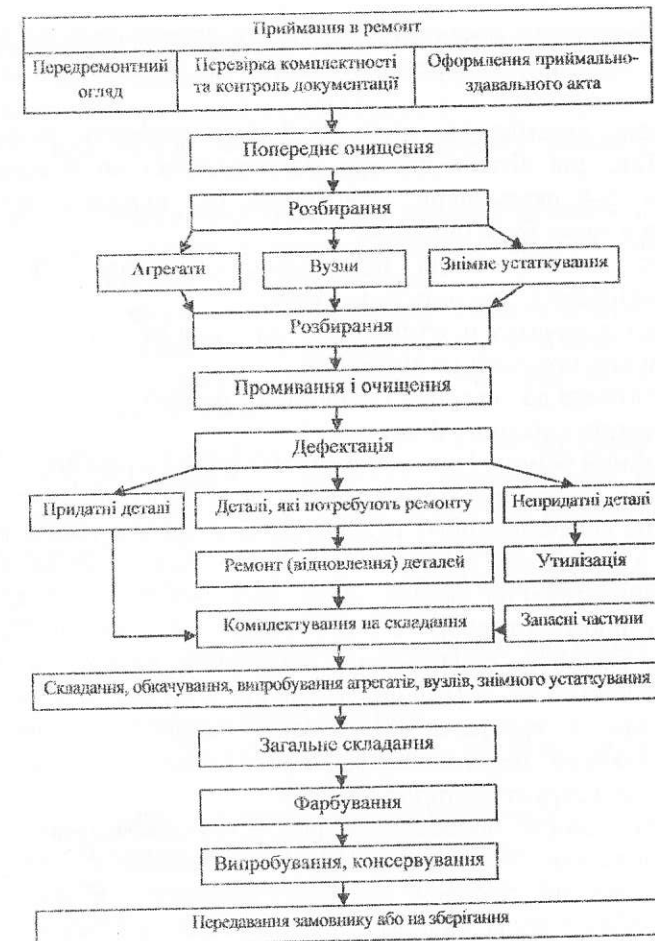


Рис. 11.4. Структурна схема технологічного процесу капітального ремонту ПС

#### 11.4. Загальні організаційно-технічні заходи щодо підготовки виробництва до ремонту

Ефективність авіаремонтного виробництва значною мірою залежить від рівня і організаційно-технічної досконалості підготовки його виробничих процесів до ремонту.

Процес підготовки і виконання ремонту на першому екземплярі об'єкта ремонту ПС називають *освоєнням ремонту*.

Процес ремонту наступних декількох екземплярів до початку серійного ремонту конкретного типу ПС називають *дослідним ремонтом*.

Кількість екземплярів для дослідного ремонту може бути різною. Так, для літаків дальніх магістральних ліній вона може становити 2–4 екземпляри, для інших ПС кількість дослідних екземплярів може бути більшою.

Процес ремонту після підготовки, освоєння і дослідного ремонту називають *серійним ремонтом*.

Період від початку підготовки до освоєння ремонту об'єкта ПС можна умовно поділити на три етапи:

- підготовка до освоєння і дослідного ремонту;
- освоєння і дослідний ремонт;
- серійний ремонт і вдосконалення серійного ремонту.

У період підготовки до освоєння і дослідного ремонту нового типу ПС на авіаремонтному підприємстві розробляється комплексний план з підготовки до ремонту і вживаються необхідні загальні організаційно-технічні заходи щодо його реалізації: складаються графіки і програми робіт з підготовки, освоєння, дослідного і серійного ремонту; складаються кошториси витрат на ремонт; готуються заявки на отримання технічної документації; розробляються план і програми підготовки кадрів, проводиться їх укомплектування; переглядаються і удосконалюються організація виробництва і структура підприємства.

За необхідності проводиться реконструкція діючих і будівництво нових виробничих та інших площ і приміщень, освоюються нові технологічні процеси ремонту; здійснюється матеріально-технічне забезпечення виробництва; розробляється технічна документація на ремонт.

Освоєння нових технологічних процесів ремонту здійснюється за відсутності на підприємстві технологій, передбачених керівництвом з ремонту об'єкта ПС, ремонт якого освоюється, а також у разі потреби впровадження більш прогресивних технологічних процесів ремонту, спрямованих на підвищення якості відремонтованої ПС, забезпечення зниження собівартості ремонту, екологічної безпеки, умов охорони праці, розширення номенклатури відновлюваних деталей тощо.

Розроблення технічної документації на ремонт полягає в підготовці комплексу документів, необхідних і достатніх для

виконання ремонту виробу ПС або його частин. Так, для освоєння ремонту ПС технічна документація розробляється за двома паралельними напрямками:

- для всіх етапів технологічного процесу ремонту знімних виробів ПС;

- для всіх етапів технологічного процесу ремонту планера та складання, регулювання, доведення і випробування ПС загалом.

Для виконання цих робіт розробляють:

- плани і графіки освоєння ремонту знімних агрегатів, обладнання, конструктивних елементів і планера першого екземпляра ПС;

- оперативні графіки розроблення дослідної технології ремонту на зазначені об'єкти ПС;

- виробничо-контрольну документацію на всі етапи технологічного процесу ремонту і переліку операцій, що підлягають пред'явленню для контролю відділом технічного контролю;

- карти дефектації, умови на відбракування та ремонт деталей, відомості комплектації, протоколи випробувань агрегатів, систем і післяремонтного випробування ПС загалом;

- формуляр силових елементів планера ПС для ремонту;

- перелік деталей, що підлягають постійній заміні на першому екземплярі і під час дослідного ремонту;

- перелік нових виробів і матеріалів, що підлягають вхідному контролю;

- заходи з метрологічного забезпечення виробництва, забезпечення вимог охорони праці і екологічної безпеки.

Уточнюють також можливості застосування технологічних процесів ремонту, які використовувалися на аналогічних виробках, що раніше ремонтувалися на підприємстві, або ремонтуються на інших підприємствах.

Технологія ремонту та інші види технічної документації розробляють на основі отриманої від розробника і заводу-виробника технічної документації, попереднього досвіду ремонту прототипів (аналогів) ПС об'єкта ремонту, що освоюється, аналізу досягнень науки і техніки, результатів спеціально виконаних для цього науково-дослідних робіт, передового досвіду організації і технології виконання ремонту.

Під час розроблення технічної документації на ремонт особлива увага приділяється розробленню технічних умов на визначення ТС

(дефектації) і ремонт об'єктів ПС, оскільки від точності і обґрунтованості призначення допустимих і недопустимих величин робочих параметрів і характеристик деталей, вузлів, систем, агрегатів і загалом виробу ПС залежать якість і економічна ефективність ремонту, надійність відремонтованої ПС і безпека її експлуатації.

Після отримання першого екземпляра виробу ПС та вжиття необхідних заходів з підготовки виробництва до ремонту проводиться освоєння ремонту. У процесі освоєння уточнюються дослідні технології та інша технічна ремонтна документація, визначаються та уточнюються норми витрат часу і розряди на виконання ремонтних робіт, норми витрат запасних частин і матеріалів, собівартість ремонту. Перший відремонтований екземпляр виробу пред'являється міжвідомчій комісії для отримання дозволу на дослідний ремонт. Одночасно комісія визначає готовність підприємства до організації серійного ремонту.

За результатами освоєння і дослідного ремонту розробляються і узгоджуються з конструкторським бюро та заводами-виробниками проекти специфікацій комплектів запасних частин і зведені переліки технічної документації для серійного ремонту; розробляються і затверджуються технічні умови на ремонт, директивна технологія, комплектується та затверджується «справа ремонту».

Крім цього, узгоджується з конструкторськими бюро і заводами-виробниками комплект ремонтної технологічної документації; розробляються і затверджуються порядок оформлення формулярів, паспортів об'єктів ПС, введення в дію системи обліку і контролю конструктивно-технологічних доробок, базових переліків урахованих відмов, несправностей і дефектів, системи збирання, обліку оброблення і аналізу інформації про надійність ПС, АД, їх систем і агрегатів; визначається і узгоджується з конструкторським бюро і заводами-виробниками обсяг робіт під час виконання всього технологічного процесу ремонту.

У процесі серійного ремонту на основі отриманого досвіду ремонтів, останніх досягнень науки і техніки, змін в організації і керуванні виробництвом проводиться подальше уточнення технічної документації, удосконалення технологічних процесів ремонту і структури виробництва, переглядаються перелік і послідовність виконання ремонтних робіт, уточнюються технічні умови на ремонт.

З метою підвищення техніко-економічної ефективності і якості ремонту проводяться роботи з упровадження нових більш ефективних технологічних процесів, спрямованих на розширення номенклатури відновлюваних деталей, скорочення витрат матеріалів, ресурсозбереження та енергозбереження; удосконалюється діюче і освоюється нове високопродуктивне обладнання; упроваджуються засоби механізації та автоматизації виробничих процесів; налагоджується система постачання запасних частин, у тому числі власна система підприємства часткового виготовлення і забезпечення ремонту запасними частинами; ведуться роботи з підвищення надійності ПС після ремонту, збільшення міжремонтних ресурсів, скорочення тривалості ремонту. Виконання зазначених заходів у процесі вдосконалення ремонту дозволяє підвищити техніко-економічну ефективність і якість серійного ремонту ПС, а отже, надійність, безпеку експлуатації і ефективність використання ПС.

Одне з головних завдань, що вирішується під час проєктування технологічного процесу ремонту ПС, полягає у виборі найбільш ефективних, науково обґрунтованих способів і технологій ремонту, визначенні оптимальних методів організації технологічного процесу ремонту і методів організації праці.

Особливістю авіаремонтного виробництва є значна складність і велика номенклатура об'єктів ремонту, зокрема деталей, що підлягають відновленню. Причому, як показує практика ремонту ПС, кількість таких деталей постійно зростає зі збільшенням напрацювання.

Тому вагома роль у загальній технологічній підготовці авіаремонтного виробництва як на етапі освоєння ремонту, так і на етапі серійного ремонту відводиться технологічній підготовці з відновлення деталей.

Система технологічної підготовки виробництва з відновлення деталей на авіаремонтних підприємствах, як і на ремонтних підприємствах загального машинобудування повинна забезпечити розроблення технологічних процесів відновлення деталей встановленої номенклатури, нормативно-технічної документації на відповідні технологічні процеси, проєктування і виготовлення засобів технологічного забезпечення виробництва, формування пропозицій заводам-виробникам з удосконалення технологічно-конструктивних показників деталей з метою підвищення їх ремонтпридатності.

Головним конструктивним документом, що розробляється в системі технологічної підготовки виробництва з відновлення деталей, є ремонтне креслення. Ремонтні креслення розробляються на деталі кожного найменування, які підлягають відновленню під час ремонту певного типу ПС, на основі технічних вимог на ремонт, робочих креслень заводу-виробника на виготовлення деталі, результатів експериментальних і експлуатаційних випробувань із визначення рівня надійності відновлених деталей. По кожній конкретній деталі ремонтне креслення має відображати показники, що визначають якість її відновлення: геометричні параметри, параметри шорсткості поверхні, фізико-механічні параметри поверхневого шару та інші показники, установлені для конкретної деталі відповідними технічними вимогами і нормативно-технічною документацією. На ремонтному кресленні вказують також місця дефектів на деталі; надають інформацію про характер дефекту (тріщини, корозія, знос тощо), допустиму контролювану величину параметра дефекту, основний та допоміжні способи усунення дефекту; наводять схеми базування деталі під час виконання операцій з відновлення та механічного оброблення.

### 11.5. Порядок розроблення технологічного процесу ремонту

Головним документом, що розробляється на технологічний процес ремонту ПС, є поопераційна технологія.

Поопераційна технологія передбачає раціональне розчленування технологічного процесу на етапи, фази та операції і визначає послідовність їх виконання, а також необхідне обладнання, пристосування та інструменти, технологічні режими оброблення, способи і режими випробувань, кваліфікацію та розряди виконавців, норми витрат матеріалів і часу на виконання робіт.

До поопераційної технології додаються також технологічні інструкції з виконання окремих операцій і типових робіт, технологічні відомості з переліком обов'язкових для комплектування агрегатів, вузлів, деталей, перелік об'єктів, що підлягають дефектації і контролю, інші технологічні вказівки.

Склад і зміст технологічної документації, що розробляються на авіаремонтному підприємстві для освоєння і виконання ремонту ПС, залежать від конструктивно-технологічної характеристики об'єкта ремонту, масштабів і програми ремонту, характеристики

авіаремонтного підприємства, ступеня його спеціалізації і кооперування, упровадженої системи і методів ремонту.

Вихідними даними для проєктування технологічного процесу ремонту ПС є:

- технічний опис, формуляри, паспорти, комплекти креслень, вузлові і детальні специфікації на ПС, АД, їх агрегати та комплектуючі вироби;
- дані про надійність, призначені ресурси і строки служби;
- бюлетені з доопрацювань конструкцій, вузлів, агрегатів, деталей;
- керівництво з ремонту заводу-виробника;
- технічні умови на капітальний ремонт виробу ПС і ремонт (відновлення) його частин;
- специфікації обладнання, спецоснащення та інструменту, що рекомендуються розробником і заводом-виробником для ремонту;
- опис, виробничі інструкції з типових технологічних процесів заводу-виробника;
- результати аналізу досвіду ремонту прототипу та передового досвіду в галузі технології і організації ремонту машин;
- інформаційні бюлетені, патенти, публікації про нові прогресивні технології, засоби технічного оснащення та методи ремонту;
- вимоги державних, галузевих стандартів і стандартів підприємства;
- матеріали з визначення режимів технологічних процесів, норм витрат матеріалів, часу тощо;
- виробнича програма ремонту;
- планові показники собівартості, трудомісткості і тривалості ремонту;
- дані про наявне на підприємстві обладнання, оснащення, інструменти і їх прийнятність для виробу ПС, ремонт якого буде виконуватись;
- дані про наявні на підприємстві виробничі площі та їх планування.

Важливою умовою розроблення технологічних процесів ремонту ПС є дотримання технічних умов на ремонт.

Технічні умови на ремонт – це комплекс технічних вимог і документів до показників, параметрів і характеристик, які повинні задовольняти вироби після ремонту. Загальні технічні умови на

ремонт ПС і АД містять технічні умови на їх агрегати, вузли і деталі, а також технічні умови на виконання демонтажно-монтажних і розбирально-складальних операцій, промивання і очищення, дефектацію, ремонт (відновлення), регулювання і післяремонтні випробування.

Усі встановлені нормативно-технічною документацією властивості виробу під час виконання ремонту повинні бути збережені і відповідати новому виробу. Відхилення їх від значень, установлених для нового виробу, яке може допускатись у незначних межах, має бути обґрунтованим необхідними розрахунками, результатами експериментальних досліджень, стендових і експлуатаційних випробувань.

### 11.6. Тенденції розвитку організації ремонту повітряного судна та його компонентів

Незважаючи на те, що не всі форми з ТО і ремонту ПС, які використовуються закордонними компаніями, можуть бути застосовними в теперішніх умовах, досвід роботи деяких із них заслуговує на увагу.

За кордоном принцип експлуатації за ресурсом майже не використовується. При цьому до мінімуму скорочені роботи з ТО та ремонту, що виконуються за напрацюванням без попереднього контролю ТС ПС. Так, США, Японія, Франція успішно застосовують прогресивну систему ТО та ремонту ПС. Відповідно до цієї системи всі без винятку ремонтні роботи виконуються під час ТО. Поняття «капітальний ремонт» не використовується.

Система ремонту розробляється переважно фірмою-розробником на етапі проєктування і відображається в офіційних документах. Найбільшого поширення набули системи блокового безперервного ремонту. При цьому більшість готових виробів не мають призначених ресурсів. Їх ремонт проводиться доти, доки вартість ремонту не буде близькою до вартості нового виробу.

Програма послідовного ремонту та вибіркового контролю більш ефективна і динамічніша ніж програма ремонту за ресурсом, оскільки вона дозволяє своєчасно виявляти та усувати несправності і дефекти, більш рівномірно розподіляти завантаження ремонтно-технологічної бази і може бути спланована з урахуванням усіх видів перевірних і відновлювальних робіт. Процес визначення ТС і обсягу робіт з ремонту ПС здійснюється на базі широкомасштаб-

ного контролю за прогнозними параметрами і застосування евристичних методів оцінювання висококваліфікованими спеціалістами, які мають великий досвід роботи з експлуатації та ремонту певного типу ПС.

Особлива увага приділяється визначенню для кожного випадку несправності і дефекту економічно-доцільного обсягу робіт з їх усунення, а в основу визначення періодичності ремонтів покладено адаптивні методи, які в міру нагромадження інформації про властивості і стан ПС дозволяють пристосовувати систему ремонтів до умов експлуатації і конструктивно-технологічних особливостей ПС з наступним переходом до системи ремонтів, оптимальних для кожного конкретного типу ПС. Застосування такого принципу потребує безперервного удосконалення засобів діагностування ПС, широкого застосування автоматизованих систем контролю і відповідних досліджень наукового та прикладного характеру.

Планові капітальні ремонти ПС із збереженням терміну їх проведення також відіграють важливу роль, особливо на ранній стадії експлуатації нового типу ПС і АД. Капітальний ремонт забезпечує отримання максимального обсягу інформації про стан різних вузлів і елементів ПС і АД, можливість для проведення доробок та модифікацій ПС, заміни деталей та вузлів, які у зв'язку з недостатньою технологічністю конструкції не можуть бути замінені під час ТО.

У практиці ремонту ПС передових закордонних фірм, особливо ремонту авіаційних ГТД, спостерігається тенденція до створення спеціалізованих ремонтних підприємств, які спеціалізуються на ремонті окремих вузлів і деталей.

Найбільшого поширення набула предметна спеціалізація, коли на одному підприємстві зосереджується ремонт невеликої номенклатури однотипних за конструктивно-технологічними ознаками деталей і конструктивних елементів одного найменування. Так, одна з фірм спеціалізується на ремонті деталей гарячої частини ГТД, зокрема, таких як робочі і соплові лопатки турбін. Ремонт виконується за уніфікованими за типорозмірами лопаток типовими технологічними процесами, що дозволяє відновлювати лопаті різних типів ГТД.

Деякі фірми у США, Німеччині, Голландії спеціалізуються на ремонті корпусних вузлів ГТД – НА компресора, камер згоряння,

сопел, ущільнень компресора і турбіни тощо. Такі спеціалізовані ремонтні підприємства, як правило, обслуговують ремонт широкого сімейства АД. У середньому під час ремонту АД закордонного виробництва усуваються пошкодження і відновлюється до 60 % усіх деталей.

Вузька спеціалізація і організація централізованого ремонту окремих вузлів і деталей потребує для забезпечення ритмічного ремонту ПС установа тисних взаємозв'язків і налагодження чіткої координації співпраці спеціалізованого ремонтного підприємства з усією системою ремонтних підприємств і авіакомпаній, які задіяні у виконанні спільної програми ремонту. Водночас, як свідчить досвід закордонних компаній, організація такого ремонту цілком виправдовує себе.

Також забезпечується висока мобільність технологічного перенесення ремонтних підприємств у зв'язку з уведенням в експлуатацію нових зразків ПС, нових прогресивних технологічних процесів (ТП) ремонту. Одночасно за рахунок застосування новітніх технологій, предметної спеціалізації та централізації підвищується якість, скорочуються тривалість і собівартість ремонту, забезпечуються умови для створення обмінного фонду відновлених деталей і вузлів.

На вітчизняних авіаремонтних підприємствах і авіаремонтних підприємствах деяких країн натеper зберігаються індивідуальні принципи ремонту ПС, коли увесь обсяг ремонтних робіт конкретного типу ПС чи АД переважно виконується силами самого ремонтного підприємства, а відновлені і відремонтовані деталі та вузли підлягають установленню на ту машину, до якої вони належали.

За такого принципу організації ремонту через недостатню кількість однотипних за конструктивно-технологічними ознаками деталей обмежуються можливості формування на одному підприємстві груп типових деталей для організації єдиного типового чи групового ТП їх ремонту. Розширення номенклатури відновлюваних деталей та ускладнення ТП, що застосовуються під час ремонту ПС, потребують більш широкого застосування типових і групових процесів ремонту.

У цьому сенсі перспективним напрямом розвитку авіаремонтного виробництва може бути організація на умовах кооперування централізованих дільниць із ремонту певної номенклатури типових деталей за єдиним типовим або груповим ТП. Реалізація такої форми

організації ремонту сприятиме скороченню кількості оригінальних одиничних ТП, зниженню обсягу необхідних технологічних розробок, більш ефективному використанню технологічного обладнання.

В умовах індивідуального ремонтного виробництва і невеликих обсягів ремонту за кожним конкретним типом ПС формування груп деталей з метою розроблення типових і групових ТП їх ремонту на основі існуючого принципу конструктивно-технологічної подібності не є достатньо ефективним. Критерієм, який об'єднував би деталі у відповідні групи, у тому числі деталі різних типів ПС, може бути групування за схожістю дефектів, для усунення яких можна розробити єдиний ТП.

Групування деталей за схожістю дефектів з урахуванням функціонально-технологічних ознак дозволяє подати об'єкт ремонту (ПС, АД) набором ремонтних груп деталей, об'єднаних відповідним технологічним методом ремонту.

Такий підхід дає змогу більш ефективно вирішувати завдання побудови типових і групових ТП ремонту, організації потокових технологічних ліній та спеціалізованих дільниць із відновлення деталей. Проте його реалізація можлива на основі глибокого аналізу дефектів, вивчення природи їх виникнення, створення відповідних інформаційних баз даних в автоматизованих системах технологічної підготовки авіаремонтного виробництва.

### *Запитання та завдання для самоперевірки*

1. На які види поділяються дефекти деталей і вузлів ПС і АД за походженням? Охарактеризуйте напрями усунення таких дефектів під час ремонту.
2. Дайте визначення понять «малоциклова втома» і «багатоциклова втома».
3. Поясніть поняття «відмінність хімічної і електрохімічної корозії». Які існують види корозії за характером зовнішнього прояву корозійного руйнування?
4. Охарактеризуйте процеси руйнування металів при термічній втомі і повзучості.
5. Наведіть кількісні показники, що характеризують причини виникнення експлуатаційних дефектів деталей ПС і АД.
6. Розкрийте поняття «ремонт». Яке призначення має ремонт стосовно повітряного судна та його компонентів?

7. Що називають системою ремонту? Перелічіть і стисло охарактеризуйте діючі системи ремонту.
8. Охарактеризуйте методи організації і способи ремонту ПС і АД.
9. Які чинники впливають на організаційну структуру авіаремонтного підприємства?
10. Виробничий і технологічний процеси ремонту. Наведіть структурну схему технологічного ремонту ПС.
11. Охарактеризуйте основні заходи, які вживають під час підготовки виробництва до ремонту повітряного судна та його компонентів.
12. Яка інформація є вихідною для проєктування технологічного процесу ремонту ПС?
13. Охарактеризуйте основні тенденції розвитку організації ремонту повітряного судна та його компонентів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитрієв С. О., Тугарінов О. С., Чоха Ю. М., Докучаєв В. Г. Технічне обслуговування планера і функціональних систем повітряних суден та авіадвигунів : навч. посіб. / за ред. С. О. Дмитрієва. Київ : НАУ, 2004. 244 с.
2. Дмитрієв С. О., Тугарінов О. С., Чоха Ю. М. Особливості експлуатації і технічного обслуговування планера та функціональних систем повітряних суден у складних природно-кліматичних умовах : курс лекцій. Київ : НАУ, 2005. 140 с.
3. Кудрін А. П., Зайченко Г. М., Волосович Г. А., Хишко В. Д. Ремонт повітряних суден та авіаційних двигунів : підручник. Київ : НАУ, 2002. 492 с.
4. Щеглова Г. С. Краснова В. М. Совершенствование организации ремонтного производства на базе анализа дефектов. *Перспективные методы ремонта АТ*: межвуз. сб. науч. тр. Киев : КИИГА, 1981. С. 142–148.
5. Характерные повреждения авиационных газотурбинных двигателей семейства CFM56. URL: [https://studbooks.net/2373413/tehnika/harakternye\\_povrezhdeniya\\_aviatsionnyh\\_gazoturbinnih\\_dvigatelay\\_semeystva\\_cfm56](https://studbooks.net/2373413/tehnika/harakternye_povrezhdeniya_aviatsionnyh_gazoturbinnih_dvigatelay_semeystva_cfm56).
6. Borescope Inspection Report Ref: GH0057-721211-13JUN2016-EURO APMS Aviation Ltd. Hangar K4, Cotswold Airport, Cirencester, Gloucestershire, GL7 6BA United Kingdom www.apmsaviation.com EASA 145 UK.145.01272 FAR 145 Foreign Repair Station O6RY005B. *CFM56-3. Engine Type: CFM 56-3B2*. 2016. OCT/14. (Iss. 2). 15 p.
7. Borescope Inspection Report Ref: GH0071-856877-07SEP2016-EURO APMS Aviation Ltd. Hangar K4, Cotswold Airport, Cirencester, Gloucestershire, GL7 6BA United Kingdom. EASA 145 UK.145.01272 FAR 145 Foreign Repair Station O6RY005B. *CFM56-3. Engine Type: CFM 56-3C1*. 2019. OCT/14. (Iss 2). 13 с.
8. 72-42-00-290-001-A-Borescope Inspection of the Combustion Chamber Liners and Dome Area. 2019. 18 p.
9. 72-52-00-290-001-A – Borescope Inspection of HPT Blades. 2019. 13 p.



10. Карпинос Б. С., Коровин А. В., Лобунько А. П., Ведищева М. Ю. Эксплуатационные повреждения турбореактивных двухконтурных авиационных двигателей. *Вісник двигунобудування*. № 1, 2014. С. 18–24.

11. Функциональные системы воздушных судов: учеб. пособ. / В. В. Гаража и др. Киев : КИИГА, 1989. 402 с.

12. Юцкевич С. С., Хижняк С. В. Конструкция конкретного типа воздушного судна. Самолет Ан-140 : учеб. пособ. Киев : НАУ, 2013. 160 с.

13. Тамаргазін О. А. Системи технічного обслуговування пасажирських літаків : монографія. Київ : КМУЦА, 2000. 268 с.

14. Теорія авіаційних газотурбінних двигунів : підручник / Ю. М. Терещенко та ін. Київ : Книжкове видавництво НАУ, 2005. 500 с.

15. Дмитрієв С. О., Попов О. В., Стюпушкіна О. П. Експертна модель локалізації несправностей проточної частини газогенератора. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. Х.: НАУ «ХАІ». 2006. №8/34. С. 168–171.

16. Попов А. В. Исследование влияния эксплуатационных факторов на динамические характеристики ТРДД при приемистости. *Вісник двигунобудування*. 2006. №1. С. 59–61.

17. Попов О. В. Аналіз надійності двигуна Д-36. «*AVIA-2002*» : матеріали ІV Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 23–24 квітн. 2002 р. Київ, 2002. Т. 3. С. 34.39–34.41.

18. Попов А. В., Степушкіна Е. П. Влияние эксплуатационных повреждений на динамические свойства ТРДД. «*AVIA-2006*» : матеріали VII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 25–27 вересн. 2006 р. Київ, 2006. Т. 2. С. 3.96–3.99.

19. Панин В. В., Кинашук И. Ф., Орланов В. И. Способ оценки технического состояния компрессоров ГТД. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. Х.: НАУ «ХАІ». 2001. Вип. 26. С. 236–239.

20. Panin V. V., Voznyuk A. P., Popov A. V., Sun Gaoyong. Influence of gas turbine engine gar-air channel operational factors and damageability on its components. *Proceedings of NAU*. 2005. № 2. P. 49–52.

21. Технический отчет по результатам эксплуатации турбореактивных двоконтурных двигателей Д-36, Д-18Т и АИ-25 в период с 1996-2001 гг. ГП ЗМКБ «Прогресс». Запорожье. 2002. 52 с.

22. Карпинос Б. С., Коровин А. В., Лобунько А. П., Ведищева М. Ю. Эксплуатационные повреждения турбореактивных ТРДД с форсажной камерой сгорания. *Вісник двигунобудування*. № 1, 2014. С. 18–24.

23. Павленко Д. В., Двирник Я. В. Закономерности изнашивания рабочих лопаток компрессора вертолетных двигателей, эксплуатирующихся в условиях запыленной атмосферы. *Вісник двигунобудування*. № 1, 2019. С. 42–51.

24. Кривошеев И. А., Рожков К. Е., Соболев М. А., Старостин Н. С. Разработка метода параметрической диагностики состояния лопаток в ГТД и ГТУ с использованием технологии имитационного моделирования. *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2012, № 5. С. 375–383.

Навчальне видання

ДМИТРИЄВ Сергій Олексійович  
ПОПОВ Олександр Вікторович  
МАКСИМОВ Володимир Олексійович  
ДУХОТА Олександр Іванович  
ЄВСЮКОВ Євген Юрійович

**ПІДТРИМАННЯ  
ЛЬотної ПРИДАТНОСТІ  
ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**  
(ICAO Doc. 9760)

Навчальний посібник

В авторській редакції

Технічний редактор *А. І. Лавринович*  
Художник обкладинки *О. О. Зайцева*  
Комп'ютерна верстка *Н. В. Черної*

Підп. до друку 15.09.2022. Формат 60x84/16. Папір офс.  
Офс. друк. Ум. друк. арк. 12,09. Обл.-вид. арк. 13,0.  
Тираж 50 прим. Замовлення № 105-1.

Видавець і виготівник  
Національний авіаційний університет  
03058. Київ-58, проспект Любомира Гузара, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 7604 від 15.02.2022