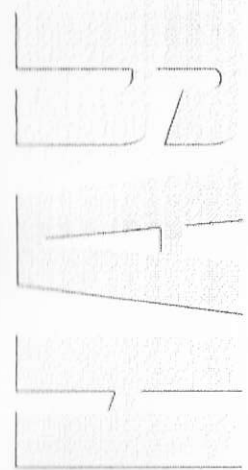


629.7
7382



VIVERE!
VINCERE!
CREARE!

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

**ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ
ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН
І АВІАДВИГУНІВ**

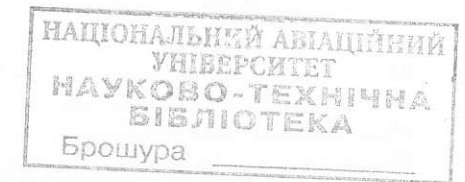
Методичні рекомендації
до виконання дипломних робіт (проектів)
для студентів спеціальності 272
«Авіаційний транспорт» спеціалізації
«Технічне обслуговування
та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»

Київ 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ
ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН
І АВІАДВИГУНІВ

Методичні рекомендації
до виконання дипломних робіт (проектів)
для студентів спеціальності 272
«Авіаційний транспорт» спеціалізації
«Технічне обслуговування
та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»



Київ 2018

УДК 629.735.083.02/.06:629.7.03(076.5)

ББК 052-082р

Т 382

Укладачі: В. І. Бурлаков, О. В. Орлов, О. В. Попов,
Т. П. Маслак, М. І. Шпакович, Д. В. Попов

Рецензент С. С. Юцкевич

Затверджено методично-редакційною радою Національного
авіаційного університету (протокол № 2/14 від 13.03.2014 р.).

Т 382 **Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден
і авіадвигунів** : методичні рекомендації до виконання дипломних
робіт (проектів) / уклад. : В. І. Бурлаков, О. В. Орлов, О. В. Попов
[та ін.]. — К : НАУ, 2018. — 52 с.

Наведено методичні рекомендації до виконання та оформлення
частин дипломних робіт (проектів) за такими тематичними
напрямами: надійність авіаційної техніки, сертифікація авіаційної
техніки.

Для студентів спеціальності 272 «Авіаційний транспорт»
спеціалізації «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден
і авіадвигунів».

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЧАСТИН ІЗ НАПРЯМУ «НАДІЙНІСТЬ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ» | 4 |
| 1.1. Рекомендації до збору експлуатаційної інформації та її класифікація..... | 5 |
| 1.2. Побудова характеристик надійності виробів авіаційної техніки непараметричним методом..... | 6 |
| 1.3. Побудова характеристик надійності виробів авіаційної техніки параметричним методом..... | 7 |
| 1.3.1. Вибір і обґрунтування моделей надійності..... | 7 |
| 1.3.2. Побудова моделі раптових відмов..... | 9 |
| 1.3.3. Побудова моделей поступових відмов та визначення показників надійності..... | 11 |
| 1.3.4. Визначення оперативних показників надійності авіаційної техніки..... | 16 |
| 1.4. Побудова моделі формування параметричних відмов виробів авіаційної техніки..... | 19 |
| 1.5. Рекомендації з виконання дослідження надійності та ефективності процесу технічної експлуатації повітряних суден..... | 21 |
| 1.5.1. Завдання дослідження надійності авіаційної техніки та особливості їх вирішення під час експлуатації..... | 21 |
| 1.5.2. Аналіз ефективності процесу технічної експлуатації повітряних суден..... | 24 |
| 1.6. Забезпечення надійності повітряних суден та авіаційних двигунів..... | 29 |
| 1.6.1. Етапи формування надійності авіаційної техніки..... | 29 |
| 1.6.2. Конструктивно-технологічні аспекти забезпечення надійності авіаційної техніки..... | 30 |
| 2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЧАСТИН ІЗ НАПРЯМУ «СЕРТИФІКАЦІЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ» | 35 |
| 2.1. Рекомендації щодо схвалення конструкції об'єкта авіаційної техніки..... | 36 |
| 2.2. Рекомендації щодо схвалення суб'єкта відповідальності..... | 37 |
| 2.2.1. Схвалення робіт з технічного обслуговування за умов спеціальних випадків..... | 38 |
| 2.2.2. Використання запасних частин..... | 40 |
| Додаток А..... | 43 |
| Додаток Б..... | 44 |
| Додаток В..... | 45 |
| Додаток Г..... | 46 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ | 49 |

ВСТУП

Метою навчального видання є надання рекомендацій з виконання та оформлення частин дипломних робіт (ДР), проектів (ДП) за такими тематичними напрямками:

- надійність авіаційної техніки (АТ);
- сертифікація АТ.

Також ці рекомендації дадуть можливість студентам виконати аналітичну та спеціальну частини за цими та іншими тематичними напрямками.

Вимоги рекомендацій стосуються студентів спеціалізації «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів» стаціонарної та заочної форм навчання.

Навчальне видання складається з двох частин.

У першій частині надано рекомендації щодо збору, обробки та аналізу експлуатаційної інформації, викладено принципи та методи побудови моделей відмов та оцінки показників надійності виробів АТ, викладено методику аналізу ефективності процесів забезпечення льотної придатності повітряних суден (ПС).

У другій частині наведено загальні вимоги щодо обрання суб'єкта та об'єкта регулювання льотної придатності (ЛП), а також суб'єкта та об'єкта відповідальності за підтримання ЛП ПС на стадії експлуатації.

Методичні рекомендації призначені для:

- керівників ДР (ДП) випускників Навчально-наукового Аерокосмічного інституту (ННАКІ) НАУ;
- спеціалістів та керівників організацій і підприємств, що долучаються до роботи в Екзаменаційній комісії (ЕК) під час захисту ДР (ДП) випускниками ННАКІ.

Вимоги щодо оформлення текстової частини та ілюстративного матеріалу пояснювальної записки з тематичних напрямків наведено в методичних рекомендаціях [1].

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЧАСТИН ІЗ НАПРЯМУ «НАДІЙНІСТЬ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ»

Технічна експлуатація (ТЕ) АТ полягає у здійсненні заходів щодо планування, організації та технології проведення робіт з технічного обслуговування (ТО), розрахунку і планування оптимальних комплектів запасних частин, запасних інструментів і приладів

(ЗІП), організації всіх видів ТО та ремонту виробів АТ, розрахунку необхідного складу й чисельності ремонтного та експлуатаційного персоналу, а також інших організаційно-технічних завдань ТЕ.

Методологічною основою вирішення завдань ТЕ є теорія надійності, що містить інженерні методики оцінки показників надійності об'єктів експлуатації та оптимізації вибору прийнятих рішень.

Аналіз результатів експлуатації систем ПС має особливе значення для розробки заходів, які сприяють підвищенню надійності виробів АТ. Аналіз експлуатаційної інформації, її класифікація та обробка дозволяють встановити ознаки й причини відмов виробів, виявити фізико-хімічні процеси, що лежать в основі відмов, визначити характерні види відмов та пошкоджень конкретних типів ПС, розробити заходи щодо підвищення надійності об'єктів експлуатації та безпеки польотів (БП).

1.1. Рекомендації до збору експлуатаційної інформації та її класифікація

Для оцінки надійності виробів АТ як джерела інформації можуть бути використані:

- картки урахування відмов та несправностей АТ;
- донесення з авіаційних пригод та пояснення їх передумов;
- відомості про відмови та несправності, що були виявлені у польоті та зареєстровані екіпажем у бортовому журналі;
- картки-наряди на ТО та відомості дефектації;
- відомості про відмови та несправності АТ, виявлені відділом технічного контролю;
- спеціальні картки для збору та урахування інформації щодо технічного стану виробів АТ;
- звіти про результати випробувань виробів підприємствами-постачальниками, рекламацийні та технічні акти;
- звіти експлуатантів про результати аналізів регулярності польотів, якості ТО АТ;
- звіти про результати аналізу надійності парку ПС України.

Інформацію збирають за типами ПС.

Залежно від мети аналізу надійності, що проводиться, змінюється необхідний обсяг за кожною із зазначених груп відомостей про відмови та несправності виробів АТ. Перед початком збору інфор-

мації важливо встановити необхідний обсяг відомостей та обрати форму збору даних, зручну для проведення якісного та кількісного аналізів надійності.

Експлуатаційні дані про відмови та несправності АТ містять різноманітну інформацію. У зв'язку із цим на початковому етапі наявні дані слід якісно проаналізувати з інженерного погляду з метою їх підготовки для проведення подальшої математичної обробки й оцінки показників надійності.

1.2. Побудова характеристик надійності виробів авіаційної техніки непараметричним методом

Експериментальна оцінка характеристик надійності зводиться до визначення функції щільності $f_i^*(t)$, інтенсивності відмов $\lambda_i^*(t)$, імовірності безвідмовної роботи $P_i^*(t)$ і побудови їх графіків.

За непараметричного методу (коли невідома математична модель (ММ) надійності виробу) показники надійності оцінюють безпосередньо за результатами експлуатаційних спостережень у такому порядку:

- будують варіаційний ряд (статистичні дані з напрацювань виробів до відмови розміщують у порядку зростання);
- визначають кількість інтервалів групування K , розбивши за малих обсягів вибірки $N < 500$ розкид спостережень на п'ять-сім рівних інтервалів;
- знаходять інтервал групування $\Delta t = R/K$, де R — ресурс заданого виробу;
- визначають за статистичними даними інтервальні оцінки $\lambda_i^*(t)$, $P_i^*(t)$, $f_i^*(t)$, за наведеними нижче формулами.

Результати розрахунків заносять до табл. 1.1 та будують графіки змінювання характеристик $\lambda_i^*(t)$, $P_i^*(t)$, $f_i^*(t)$ від напрацювання

$$\lambda_i^*(t) = \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{[N_0 - n(t)] \Delta t} = \frac{\Delta n}{N(t) \Delta t};$$

$$P_i^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}; \quad f_i^*(t) = \frac{\Delta n}{N_0 \Delta t},$$

де Δn_i — кількість відмов у i -му інтервалі; N_0 — загальна кількість виробів; Δt — інтервал; $n(t)$ — кількість відмов до моменту часу t .

Таблиця 1.1

Результати розрахунків

| Величина | Інтервал спостереження, год | | | | | |
|------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0–1000 | 1000–2000 | 2000–3000 | 3000–4000 | 4000–5000 | 5000–6000 |
| Δn | | | | | | |
| $n(t)$ | | | | | | |
| $N(t)$ | | | | | | |
| $f_i^*(t)$ | | | | | | |
| $\lambda_i^*(t)$ | | | | | | |
| $P_i^*(t)$ | | | | | | |

1.3. Побудова характеристик надійності виробів авіаційної техніки параметричним методом

1.3.1. Вибір і обґрунтування моделей надійності

Вичерпною характеристикою будь-якої випадкової величини є ймовірнісний розподіл цієї величини чи функція розподілу. Незалежно від складності об'єкт (елемент, система, складна система з резервуванням) має певну функцію розподілу напрацювання (модель відмов), і вся проблема оцінки показників надійності об'єкта зводиться до оцінки параметрів цього розподілу.

Побудова моделі надійності передбачає визначення аналітичного виразу для ймовірності безвідмовної роботи об'єкта. У цьому випадку модель надійності системи встановлює залежність імовірності безвідмовної роботи системи від показників надійності елементів з урахуванням структури (виду структурної схеми надійності) системи. Своєю чергою модель надійності елементів, наприклад, зношуваних механічних об'єктів, встановлює залежність безвідмовної роботи елемента від параметрів процесу зношування; механічних елементів, які руйнуються під дією статичних чи циклічних навантажень, від напруження та міцності тощо.

Встановлення аналітичного виразу функції розподілу випадкових величин (напрацювання, ресурсу тощо) дозволяє визначити необхідні показники надійності (середні та гамма-відсоткові показники, імовірність безвідмовної роботи тощо). У цьому випадку вибір цієї чи іншої теоретичної моделі відмов (МВ) зумовлює певну точність одержуваних кількісних показників надійності. Методичні похибки оцінок показників надійності, певних моделей можуть ма-

ти суттєве значення.

Вибір МВ, тобто визначення аналітичного виразу функції розподілу, проводять на підставі аналізу:

- статистичних даних напрацювань до відмови (ресурсу чи збережуваності);
- фізичних процесів деградації, які зумовлюють відмову (граничний стан).

Перший підхід встановлення закономірностей появи відмов полягає у використанні деяких розподілів випадкових величин, які відомі у теорії ймовірностей як МВ. Тоді відмови розглядають як абстрактні випадкові події, а МВ називають імовірнісними (статистичними).

Другий підхід для встановлення закономірностей появи відмов полягає в аналізі статистичних закономірностей протікання фізичних процесів, які призводять до відмов. Цей підхід визначає МВ, які спеціально побудовані для опису явища, що вивчається. У цьому випадку параметри розподілу мають конкретну фізичну інтерпретацію, а МВ називають імовірнісно-фізичними.

Урахування фізичної природи відмов та причин їх виникнення під час формалізації МВ визначає фізичне обґрунтування або фізичність моделей відмов і дозволяє ефективніше вирішувати практичні завдання надійності.

Модель надійності обирається на основі аналізу фізики процесів, які призводять до відмов, досвіду експлуатації, законів розподілу напрацювання виробів до відмови аналогічних об'єктів експлуатації.

Прийняття гіпотези про вид функції розподілу часу безвідмовної роботи є відповідальним етапом при обробці та аналізі результатів експлуатаційних спостережень. Експериментально встановлена задовільна відповідність процесів, які призводять до раптових відмов, експоненційному закону розподілу, процесів зношування — нормального закону.

Процеси утомлюванісного руйнування чи сукупності видів руйнування елементів об'єкта експлуатації можна описати розподілом Вейбулла.

Стандартом прийняті такі позначення планів спостережень: $[NUN]$, $[NUT]$, $[NRT]$, де N — кількість виробів, що спостерігаються; U — вироби, що відмовили, які не відновлюються і не замінюються; R — вироби, що відмовили, які замінюються новими; T — встановлена тривалість спостережень кожного виробу.

При планах $[NUN]$, $[NUT]$ вироби відновлюють або замінюють новими, однак результати спостережень за відремонтованими виробами надалі не розглядають.

Знання ознак передвідмовного стану виробів та вивчення впливу експлуатаційних навантажень на характер протікання фізичних процесів є основою для розробки рекомендацій, які сприятимуть підвищенню надійності виробів АТ.

1.3.2. Побудова моделі раптових відмов

У період сталого характеру $\lambda(t)$, коли значення $\lambda(t)$ практично не залежать від напрацювання й відмови мають раптовий характер, використовують експоненційну функцію розподілу:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \lambda(t) = \text{const.}$$

Розподіл має один параметр і широко використовується для аналізу раптових відмов виробів та складних систем ПС.

Оцінка параметра розподілу залежить від плану випробувань. Точкові оцінки параметра λ визначаються за формулами табл. 1.2, а довірчі межі — за формулами табл. 1.3.

У табл. 1.4 наведено значення $\chi_{2p, N-1}$. Імовірність визначається через довірчу ймовірність β з урахуванням значень табл. 1.2.

Порядок визначення точкової оцінки параметра закону розподілу розглянемо на такому прикладі. Досліджувалось $N = 20$ виробів протягом $T = 1000$ год.

За час спостереження відмовило п'ять виробів. Напрацювання до відмови $t_i = 100, 200, 500, 800, 900$ год.

Таблиця 1.2

Формули визначення точкової оцінки параметра $\hat{\lambda}$

| План спостережень | Формула для визначення точкової оцінки $\hat{\lambda}$ |
|-------------------|--|
| $[NUT]$ | $N / \sum_{i=1}^N t_i$ |
| $[NUT]$ | $d / \sum_{i=1}^d t_i + (N - d)T$ |
| $[NRT]$ | d / NT |

Примітка: d — кількість відмов за час спостереження T .

Таблиця 1.3

Формули для визначення довірчих меж

| План спостережень | Нижня межа $\hat{\lambda}_H$ | Верхня межа $\hat{\lambda}_B$ |
|-------------------|---|---|
| [NUT] | $\frac{\hat{\lambda}\chi_{1-\beta}^2; 2N}{2N}$ | $\frac{\hat{\lambda}\chi_{1+\beta}^2; 2N}{2N}$ |
| [NUT] | $\frac{\hat{\lambda}N\chi_{1-\beta}^2; 2d}{d\left(2N-d+0,5\chi_{1-\beta}^2; 2d\right)}$ | $\frac{\hat{\lambda}N\chi_{1+\beta}^2; 2d}{d\left(2N-d+0,5\chi_{1+\beta}^2; 2d\right)}$ |
| [NRT] | $\frac{\hat{\lambda}\chi_{1-\beta}^2; 2d}{2d}$ | $\frac{\hat{\lambda}\chi_{1+\beta}^2; 2d}{2d}$ |

Примітка: $\chi_{2p, N-1}$ — квантиль χ^2 розподілу.

Таблиця 1.4

Значення $\chi_{2p, N-1}$

| P | Кількість степенів вільності N-1 | | | | | |
|-------|----------------------------------|------|------|-------|-------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 |
| 0,025 | 0,83 | 3,25 | 6,26 | 9,59 | 16,80 | 32,4 |
| 0,050 | 1,15 | 3,94 | 7,26 | 10,90 | 18,50 | 34,8 |
| 0,100 | 1,61 | 4,87 | 8,51 | 12,4 | 20,6 | 37,7 |
| 0,900 | 9,24 | 16,0 | 2,3 | 28,4 | 40,3 | 63,2 |
| 0,950 | 11,10 | 18,3 | 25,0 | 31,4 | 43,8 | 67,5 |
| 0,975 | 12,80 | 20,5 | 27,5 | 34,2 | 47,0 | 71,4 |

Відповідно до умов маємо план спостережень [NUT]. Визначаємо точкову оцінку інтенсивності відмов:

$$\hat{\lambda} = d / \sum_{i=1}^d t_i + (N-d)T = 5/2500 + (20-5) \cdot 1000 = 0,00028 \text{ год}^{-1}.$$

Точкова оцінка середнього значення напрацювання до відмови:

$$\hat{T}_{\text{сер}} = 1/\hat{\lambda} = 1/0,00028 = 3571 \text{ год.}$$

Двосторонні довірчі межі для $\hat{\lambda}$ визначаємо з довірчою ймовірністю $\beta = 0,9$:

$$\hat{\lambda}_H = \frac{\hat{\lambda}N\chi_{1-\beta}^2; 2d}{d\left(2N-d+0,5\chi_{1-\beta}^2; 2d\right)} = \frac{0,00028 \cdot 20 \cdot 3,94}{5 \cdot (2 \cdot 20 - 5 + 0,5 \cdot 3,94)} = 0,00012 \text{ год}^{-1},$$

де $\chi_{1-\beta}^2; 2d = \chi_{1-0,9}^2; 2d = \chi_{0,5}^2; 10 = 3,94$.

Аналогічно:

$$\hat{\lambda}_B = \frac{\hat{\lambda}N\chi_{1+\beta}^2; 2d}{d\left(2N-d+0,5\chi_{1+\beta}^2; 2d\right)} = \frac{0,00028 \cdot 20 \cdot 21,0}{5 \cdot (2 \cdot 20 - 5 + 0,5 \cdot 21,0)} = 0,00052 \text{ год}^{-1},$$

де $\chi_{1+\beta}^2; 2d = \chi_{0,95}^2; 12 = 21,0$.

Із цього випливає, що з імовірністю 0,9 інтервал 0,00012...0,00052 покриває невідомий параметр $\hat{\lambda}$.

Імовірність безвідмовної роботи виробу за час t обчислюємо за формулою $P(t) = e^{-\lambda t}$.

1.3.3. Побудова моделей поступових відмов та визначення показників надійності

При відмовах унаслідок зношування й старіння елементів виробів широко використовується нормальний розподіл:

$$P(t) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt; f(t) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}}; c = 1 \dots 1,02.$$

Розподіл має два параметри:

m — математичне сподівання (МС) випадкової величини;

σ — середнє квадратичне відхилення.

Для оцінки $P(t)$, $f(t)$ використовують табульовану функцію, при цьому визначають величину $x = (t-m)/\sigma$ і з допомогою таблиць значення Φ_0 , f_0 (додаток А і Б) визначають характеристики надійності за формулами:

$$P(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi_0\left(\frac{\tau - m}{\sigma}\right); \quad f(t) = \frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{\tau - m}{\sigma}\right); \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Точкові оцінки параметрів m і σ обчислюють за формулами з табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Формули для визначення точкових оцінок параметрів m і σ нормального розподілу

| План спостережень | Оцінка параметра | |
|-------------------|--------------------------------|---|
| | \hat{m} | $\hat{\sigma}$ |
| [NUM] | $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$ | $\left[\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - m)^2}{N - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$ |
| [NUT] | $\bar{T} - k(\bar{T} - T)$ | $[S^2 + k(\bar{T} + T)^2]^{0,5}$ |

Для плану спостережень [NUT] обчислюють значення \bar{T} і S^2 за формулами:

$$\bar{T} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d t_i; \quad S^2 = \frac{1}{d-1} \sum_{i=1}^d (t_i - \bar{T})^2,$$

а потім визначають допоміжні коефіцієнти:

$$\rho = S^2 / (\bar{T} - T)^2, \quad h = N - d/N.$$

Залежно від значень ρ і h з табл. 1.6 визначають коефіцієнт k .

За значеннями параметрів m і σ обчислюють інтенсивність відмов $\lambda(t)$, імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і функцію щільності розподілу $f(t)$, які необхідно визначити в межах напрацювання від 0 до $2m$ (год).

Для нормального розподілу нижню й верхню довірчу межу середнього значення визначають за формулами:

$$\hat{m}_H = \hat{m} - t_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{N}}; \quad \hat{m}_B = \hat{m} + t_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{N}},$$

де t_γ — квантиль розподілу Стюдента; γ — прийняте значення довірчої ймовірності; N — обсяг вибірки.

Таблиця 1.6

Значення коефіцієнта k

| Значення h | Значення ρ | | | | | |
|--------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| 0,05 | 0,053 | 0,060 | 0,066 | 0,070 | 0,075 | 0,079 |
| 0,10 | 0,110 | 0,125 | 0,136 | 0,146 | 0,154 | 0,162 |
| 0,20 | 0,243 | 0,270 | 0,292 | 0,312 | 0,329 | 0,345 |
| 0,30 | 0,402 | 0,442 | 0,476 | 0,505 | 0,531 | 0,555 |
| 0,40 | 0,596 | 0,648 | 0,680 | 0,732 | 0,768 | 0,800 |
| 0,50 | 0,837 | 0,901 | 0,957 | 1,007 | 1,053 | 1,095 |
| 0,60 | 1,145 | 1,222 | 1,290 | 1,351 | 1,408 | 1,461 |
| 0,70 | 1,561 | 1,651 | 1,732 | 1,806 | 1,875 | 1,940 |
| 0,80 | 2,176 | 2,280 | 2,376 | 2,465 | 2,548 | 2,626 |
| 0,90 | 3,283 | 3,403 | 3,520 | 3,628 | 3,730 | 3,827 |

При описі термінів служби підшипників, характеристик міцності, утомлюванісної стійкості, а також характеристик довговічності механічних систем застосовують розподіл Вейбулла.

Відповідно до розподілу Вейбулла, функція і щільність розподілу часу безвідмовної роботи мають вигляд:

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right], \quad f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right],$$

де a, b — відповідно параметри масштабу і форми розподілу.

Оцінку параметрів a і b визначають із рівнянь:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial a} = -\frac{db}{a} + \frac{b}{a^{b+1}} \left(\sum_{i=1}^d t_i^b + \sum_{j=1}^{N-d} t_j^b \right) = 0;$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial b} = \frac{d}{b} - d \ln a + \sum_{i=1}^d t_i + a^{-b} \ln a \left(\sum_{i=1}^d t_i^b + \sum_{j=1}^{N-d} t_j^b \right) - a^{-b} \times$$

$$\times \left(\sum_{i=1}^d t_i^b \ln t_i + \sum_{j=1}^{N-d} t_j^b \ln t_j \right) = 0.$$

Залежно від планів спостережень систему рівнянь спрощують (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Формули для визначення точкових оцінок \hat{a} і \hat{b} параметрів розподілу Вейбулла

| План спостережень | Оцінка параметрів \hat{a} і \hat{b} |
|-------------------|--|
| [NUN] | $\hat{a} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} \right]^{\frac{1}{\hat{b}}}; \left[\frac{N}{\hat{b}} + \sum_{i=1}^N t_n t_i \right] \sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} - N \sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} t_n t_i = 0$ |
| [NUT] | $\hat{a} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i^{\hat{b}} + (N-d)t_a^{\hat{b}}}{d} \right]^{\frac{1}{\hat{b}}}$ $\frac{d}{\hat{b}} = \sum_{i=1}^d t_n t_i \left[\sum_{i=1}^d t_i^{\hat{b}} + (N-d)t_a^{\hat{b}} \right] - m \left[\sum_{i=1}^d t_i^{\hat{b}} t_n t_i + (N-d)t_a^{\hat{b}} t_n t_a \right] = 0$ |

Для високонадійних об'єктів експлуатації доцільно використовувати апріорні дані з величини параметра форми \hat{b} .

Так, для механічних систем час безвідмовної роботи може бути описаний розподілом Вейбулла, параметр форми обирають з урахуванням умов виготовлення, особливостей експлуатації й ознак руйнування елементів системи. Рівняння (табл. 1.7) легко розв'язуються на ЕОМ.

За табл. 1.8 для кожного елемента визначають цифровий код, який відповідає переважаючим чинникам виготовлення, експлуатації, процесу зношування, а за табл. 1.9 — параметр форми \hat{b} , який відповідає цифровому коду. Використання цих таблиць хоча й призводить до похибки в оцінюванні показників надійності, однак забезпечує якісне порівняння отриманих результатів.

Важливою властивістю функції розподілу, використовуваної як МВ, є адекватність моделі, тобто її здатність достатньо точно описувати різні форми розподілів із будь-якими реальними значеннями коефіцієнтів варіації, та визначення оцінок показників надійності, що скорочує витрати, пов'язані з проведенням випробувань та збиранням статистичної інформації про надійність.

Таблиця 1.8

Визначення цифрового коду

| Визначальний чинник | Ознаки прояву фактора | Цифровий код |
|---|--|--------------|
| Домінуювальний процес руйнування | Зношування, утомлюваність | 1 2 |
| Стабільність умов експлуатації (інтенсивність використання, кліматичні впливи, рівень обслуговування) | Стабільні. Змінюються в широких діапазонах | 1 2 |
| Рівень технології виготовлення елемента | Високий. Середній | 1 2 |
| Ступінь завантаженості елемента | Навантаження, близькі до максимальних. Середні навантаження | 1 2 |

Таблиця 1.9

Визначення параметра \hat{b}

| Цифрові коди | Межі змінності параметра форми \hat{b} | Цифрові коди | Межі змінності параметра форми \hat{b} |
|--------------|--|--------------|--|
| 1 2 1 2 | 3,1–2,4 | 2 2 1 1 | 2,7–1,9 |
| 1 2 2 1 | 2,7–2,1 | 2 1 2 2 | 2,7–1,9 |
| 1 2 2 2 | 2,1–1,7 | 2 2 2 1 | 2,4–1,7 |
| 2 1 1 1 | 3,8–2,7 | 2 2 1 2 | 2,4–1,7 |
| 2 1 1 2 | 3,1–2,4 | 2 2 2 2 | 2,1–1,4 |

Статистичний підхід до вибору МВ та оцінки показників надійності (табл. 1.10) допускає наявність достатньої статистики відмов досліджуваного типу об'єктів.

Установлення виду розподілу відмов із позицій суто ймовірнісних концепцій зводиться до вибору на підставі загальних міркувань одного із законів розподілу випадкових величин, розроблених у теорії ймовірностей, найпридатнішого в кожному конкретному випадку.

Таблиця 1.10

Формули для визначення показників надійності

| Показники надійності | Закон розподілу | | |
|---|--|--|--|
| | експоненційний | нормальний | Вейбулла |
| Імовірність безвідмовної роботи, $P(t)$ | $e^{-\lambda t}$ | $\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{t - \bar{m}}{\bar{\sigma}}\right)$ | $e^{-\left(\frac{t}{\bar{a}}\right)^{\bar{b}}}$ |
| Інтенсивність відмов, $\lambda(t)$ | $\lambda(t)$ | $\frac{1/\sigma f_0\left(\frac{t - \bar{m}}{\bar{\sigma}}\right)}{0,5 - 0,5\Phi\left(\frac{t - \bar{m}}{\bar{\sigma}}\right)}$ | $\frac{\bar{b}}{\bar{a}} \left(\frac{t}{\bar{a}}\right)^{\bar{b}-1}$ |
| Імовірність відновлення, $M(t)$ | $1 - e^{-\lambda t}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{t - \bar{m}}{\bar{\sigma}}\right)$ | $1 - e^{-\left(\frac{t}{\bar{a}}\right)^{\bar{b}}}$ |
| Середнє напрацювання до відмови, T_1 | $\frac{1}{\lambda}$ | m | $\bar{a} \bar{b} \left(1 + \frac{1}{\bar{b}}\right)$ |
| Гамма-відсотковий термін збережувальності | $\frac{1}{\lambda} \left(-\ln \frac{\gamma}{100}\right)$ | $\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{\bar{t}_\gamma - \bar{m}}{\bar{\sigma}}\right) = \frac{\gamma}{100}$ | $\bar{a} \left(-\ln \frac{\gamma}{100}\right)^{\frac{1}{\bar{b}}}$ |

В інженерній практиці важлива простота аналітичних виразів для всіх потрібних характеристик розподілів і оцінок параметрів розподілу, а також зручність їх використання під час розв'язування конкретних задач надійності.

1.3.4. Визначення оперативних показників надійності авіаційної техніки

Головною метою аналізу надійності АТ є розробка заходів, що сприяють підвищенню безпеки і регулярності польотів та удосконаленню процесів ТЕ АТ, які зумовлюють високу ефективність її використання.

Основні завдання аналізу надійності АТ:

- визначення рівня надійності ПС та його функціональних систем (ФС);
- розрахунок показників надійності в процесі експлуатації;
- оцінка відповідності показників надійності ПС контрольному рівню надійності;

– виявлення складових частин (комплектуючих виробів, агрегатів, блоків), відмови яких викликають зниження рівня надійності ПС, та розробка пропозицій щодо усунення їх конструктивно-виробничих недоліків, які спрямовані на підвищення надійності ПС;

– аналіз ефективності заходів, які проводяться для підвищення надійності;

– розробка програми забезпечення надійності АТ (тобто вжиття керуючих дій з удосконалення процесів ТЕ ПС авіакомпанії).

Для отримання характеристик надійності виробів АТ, аналізу виникнення причин відмов та розробки заходів щодо підвищення надійності та БП ПС необхідно збирати та обробляти статистичну інформацію про відмови та пошкодження виробів АТ в умовах експлуатації.

Правила та принципи системи збору, обліку та обробки інформації про відмови та несправності АТ, яка аналізується відповідно до вимог Авіаційних правил України та рекомендованої практики ІКАО, встановлює «Керівництво зі збору, обліку та обробки інформації з надійності АТ в Україні».

Вихідними матеріалами для складання аналізу надійності експлуатантом є:

- картки обліку несправностей АТ;
- акти розслідування інцидентів;
- оперативні повідомлення про особливо небезпечні та вперше виявлені несправності (відмови) АТ;
- карти-наряди на ТО та відомості дефектації;
- бортові журнали ПС;
- результати розшифрування та аналіз інформації засобів об'єктивного контролю;
- звіти, висновки, акти та інші матеріали за результатами дослідження причин відмов АТ, виконані науково-дослідними організаціями, ремонтними та промисловими підприємствами;
- результати підконтрольної експлуатації та інші матеріали, які містять інформацію про несправності АТ.

Інформацію збирають за типами ПС. Різноманітний статистичний матеріал групують за класифікаційними ознаками, відсіюють інформацію, яка є непотрібною (помилкові записи, описки, неповнота інформації про дефекти і т. ін.), розмежовують відмови відновлювальних та невідновлювальних виробів та ін.

Проведення якісного інженерного аналізу експлуатаційної інформації про відмови та пошкодження сприяє виявленню чинників, які впливають на надійність виробів АТ, розробці напрямів удосконалення її конструкції, вибору оптимальних режимів експлуатації й забезпечує підготовку даних для їх математичної обробки.

Аналіз надійності АТ повинен бути спрямований на виявлення експлуатаційних недоліків конструктивно-виробничого характеру, на виявлення недоліків експлуатаційної документації і засобів наземного обладнання, на визначення ефективності проведених заходів щодо усунення недоліків АТ і її експлуатації.

Результатом аналізу надійності АТ повинні бути конкретні пропозиції і заходи щодо попередження відмов, несправностей і пошкоджень АТ в експлуатації і на конструктивно-виробничі заходи підвищення надійності АТ. Фактичні показники надійності поділяють на основні й оперативні.

Для високо надійних виробів АТ як основні показники надійності використовують: інтенсивність відмов $\lambda(t)$ — для оцінки безвідмовності та середній час відновлення (T_v) — для оцінки ремонтпридатності виробів АТ. Ці показники використовують при достатньому обсязі статистичних даних для вирішення таких завдань: формування регламентних робіт з ТО АТ, оцінка ефективності конструктивно-технологічних доробок, оптимізація режимів контролю та діагностування АТ, розробка рекомендації з підвищення надійності АТ та ін.

Оперативні показники надійності характеризують результати реалізації надійності виробів АТ за звітний календарний період. Їх використовують для порівняльної оцінки виробничої діяльності експлуатантів, оперативної оцінки результатів експлуатації АТ, попередньої оцінки впливу зовнішнього середовища на надійність АТ, розробки заходів із попередження небезпечних наслідків в умовах експлуатації.

Оперативні показники надійності наведено у табл. 1.11.

Аналізуючи надійність агрегатів, показники оцінюють з урахуванням їх кількості на ПС за формулами:

$$T_i = \frac{kt_\Sigma}{m_{\text{відм}}}; \quad K_{1000\text{відм}} = \frac{m_{\text{відм}}}{kt_\Sigma} \cdot 1000,$$

де k — кількість однотипних агрегатів на ПС; t_Σ — сумарне напрацювання ПС за звітний період; $m_{\text{відм}}$ — кількість відмов агрегатів.

Оперативні показники надійності АТ

| Найменування показників надійності | Позначення | Формула оцінки показника надійності | Пояснення до формули |
|--|----------------------|---|---|
| Середній наліт на відмову виробів АТ в польоті, год | $T_{\text{п}}$ | $T_{\text{п}} = \frac{t_{\Sigma}}{m_{\text{п}}}$ | t_{Σ} — сумарний наліт ПС за звітний період; |
| Середня кількість несправностей, виявлених у польоті на 1000 год нальоту | $K_{1000\text{п}}$ | $K_{1000\text{п}} = \frac{m_{\text{п}}}{t_{\Sigma}} \cdot 1000$ | $m_{\text{п}}$ — сумарна кількість відмов виробів АТ у польоті |
| Середній наліт на відмову виробу АТ (виявлених у польоті й при ТО) | $T_{\text{с}}$ | $T_{\text{с}} = \frac{t_{\Sigma}}{m_{\text{с}}}$ | $m_{\text{с}}$ — сумарна кількість відмов, виявлених у польоті і при ТО |
| Середня кількість несправностей, виявлених у польоті та при ТО на 1000 год нальоту | $K_{1000\text{с}}$ | $K_{1000\text{с}} = \frac{m_{\text{с}}}{t_{\Sigma}} \cdot 1000$ | |
| Середня кількість несправностей із виробничих причин на 1000 год нальоту | $K_{1000\text{в}}$ | $K_{1000\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{t_{\Sigma}} \cdot 1000$ | $m_{\text{в}}$ — кількість відмов із виробничих причин |
| Середня кількість несправностей з експлуатаційних причин на 1000 год нальоту | $K_{1000\text{екс}}$ | $K_{1000\text{екс}} = \frac{m_{\text{екс}}}{t_{\Sigma}} \cdot 1000$ | $m_{\text{екс}}$ — кількість відмов із експлуатаційних причин |

Розраховуючи показники надійності K_{1000} для авіаційних виробів, ресурс яких визначається посадками, у формулах замість t_{Σ} — сумарне напрацювання ПС, слід використовувати N — кількість посадок.

1.4. Побудова моделі формування параметричних відмов виробів авіаційної техніки

Для дослідження динаміки зростання рівня відпрацювання виробів у процесі експлуатації використовують моделі, які встановлюють взаємозв'язок показників надійності з параметрами, що відображають зміну технічного стану виробів.

Здійснюючи контроль, виміри та реєстрацію параметрів у деякі фіксовані моменти часу, будують функції щільності параметра X : $\varphi(X_1 t_1)$; $\varphi(X_1 t_2)$, ... $\varphi(X_1 t_n)$ і визначають їх МС $m_i(t_j)$ та середнє квадратичне відхилення (СКВ) чи поле розсіювання. Зміна параметрів показана на рис. 1.1.

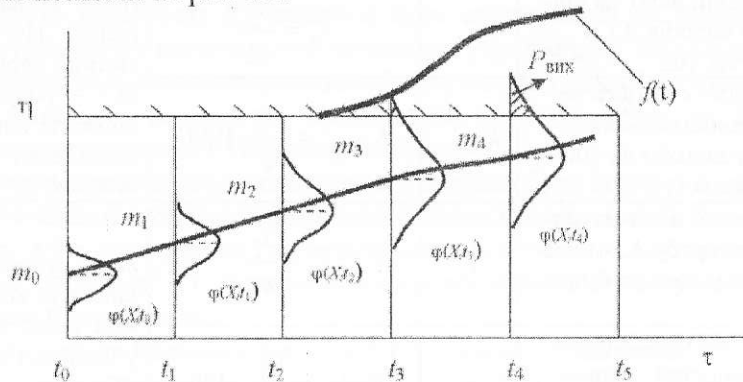


Рис. 1.1. Схема зміни параметрів, що контролюються

Надійність виробу пов'язана з характеристиками процесу:

$$P_{\text{вих}} = \int_{\eta}^{\infty} \varphi(X, t_i) di$$

У кожному перерізі визначають значення $P_{\text{вих}}$ й оцінюють середнє значення функції щільності $f_{\text{сеп}}(t)$:

$$f_{\text{сеп}} = \frac{P_{\text{вих}}(t + \Delta t) - P_{\text{вих}}(t)}{\Delta t}$$

На підставі спостереження даних у кожному перерізі визначити МС, СКВ та поле розсіювання:

$$m_x(t_j) = \frac{1}{n} \sum X_i(t_j), \quad \sigma_x(t_j) = \sqrt{\frac{\sum [X_i(t_j) - m_x(t_j)]^2}{n-1}},$$

$$2l = X_{\text{max}}(t_j) - X_{\text{min}}(t_j).$$

Характеристики $m_x(t_j)$ та $\sigma_x(t_j)$ можна апроксимувати простим математичним виразом:

$$m(t_j) = m_0 + kt_j.$$

Визначають імовірність виходу параметра $P_{\text{вих}}(t)$ за межі допуску в кожному перерізі:

$$P_{\text{вих}}(t_j) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi \left(\frac{\eta - m(t_j)}{\sigma_x(t_j)} \right).$$

Розраховують середнє значення функції щільності напрацювання виробів до відмови:

$$f_{\text{сеп}}(t) = \frac{P_{\text{вих}}(t + \Delta t) - P_{\text{вих}}(t)}{\Delta t}$$

і потім будують графіки зміни $f_{\text{сеп}}(t)$ від напрацювання.

За умов гострого дефіциту часу та недостатньої статистики відмов вибирають моделі функції щільності напрацювання виробів до відмови $f_{\text{сеп}}(t)$ на підставі фізичного обґрунтування цієї моделі.

1.5. Рекомендації з виконання дослідження надійності та ефективності процесу технічної експлуатації повітряних суден

1.5.1. Завдання дослідження надійності авіаційної техніки та особливості їх вирішення під час експлуатації

Головною метою дослідження надійності АТ є розробка заходів, що сприяють підвищенню регулярності і БП та удосконаленню процесів ТЕ АТ, які забезпечують високу ефективність її використання.

Для удосконалення процесів проектування й експлуатації складних систем АТ з відновлюванням і досягненням рівня надійності ФС, що задані у Нормах льотної придатності (ЛП), необхідно:

на етапі проектування:

- теоретично обґрунтувати можливість виконання вимог щодо надійності з урахуванням економічних показників, заданих у технічному завданні на розробку ФС;

- визначити варіанти схемно-конструктивної побудови складних систем із заданими характеристиками комплектуючих виробів на підставі техніко-економічного розрахунку;

- оцінити збалансованість конструктивних рішень кожного виробу АТ з урахуванням сукупності експлуатаційних чинників;

- розробити заходи щодо підвищення надійності виробів АТ для забезпечення заданого рівня надійності ФС;

- визначити конструктивні заходи, що забезпечують економічність ТЕ виробів АТ;

- вибрати оптимальну систему контролю й діагностування АТ;
- апріорно оцінити ефективність доробки, виходячи з можливості їх реалізації в експлуатації;

на етапі експлуатації:

- вибрати оптимальні стратегії і режими ТО виробів АТ;
- сформувавши оптимальні (адаптивні) регламенти ТО ПС;
- розробити рекомендації щодо забезпечення експлуатаційних властивостей об'єктів експлуатації;
- скоригувати режими ТО виробів АТ та врахувати регіональні особливості експлуатації АТ;
- впровадити нові методи ТО АТ;
- керувати технологічними процесами ТО.

Головними джерелами економічної ефективності, що досягається внаслідок вирішення наведених завдань, є:

- скорочення часу проектування об'єктів експлуатації та розробки експлуатаційної документації;
- скорочення простоїв ПС на ТО внаслідок оптимізації обсягів і режимів ТО, підвищення якості виробів АТ, удосконалення організації ТО;
- удосконалення технологічних процесів ТО об'єктів експлуатації;
- використання оптимальних стратегій ТО;
- зменшення витрат на розробку нових виробів та доопрацювання серійних виробів АТ;
- оптимізація обсягу і режиму контролю й діагностування об'єктів експлуатації.

Складовою загального комплексу робіт із забезпечення надійності виробів АТ є аналіз результатів експлуатації АТ та оцінка показників надійності виробів.

Головні завдання аналізу надійності виробів АТ в експлуатації:

- виконання та усунення відмов виробів АТ, зумовлених несуттєвими прийняттям конструктивно-технологічних рішень;
- визначення експлуатаційних чинників, що значною мірою впливають на працездатність виробів;
- оцінка показників надійності виробів АТ і оптимізація режимів та обсягів регламентних робіт;
- розробка заходів щодо підвищення і забезпечення надійності виробів АТ в експлуатації тощо.

Перспективним напрямом дослідження систем обслуговування є розробка адаптивних моделей експлуатації, моделей експлуатації з перебудовною структурою, які використовуються для удосконалення якості керування станом систем у міру накопичення інформації.

Для розробки та застосування адаптивних моделей необхідно визначити технічні можливості й обчислювальну базу реалізації адаптивних моделей.

У процесі аналізу надійності АТ слід керуватися спеціальною літературою й відповідними стандартами.

Оптимальність прийнятих рішень необхідно обґрунтувати відповідними розрахунками. Ступінь відповідності прийнятих рішень заданим вимогам можна перевірити на підставі моделювання процесу функціонування об'єкта експлуатації на ЕОМ за різних поєднань станів елементів систем ПС.

Одним із засобів, які усувають негативний вплив суб'єктивних чинників, є механізація та автоматизація основних та допоміжних процесів. Використання засобів механізації та автоматизації процесів дозволить досягти підвищення продуктивності праці, більшої стабільності технологічних процесів, значно знизити витрати на експлуатацію АТ.

Високий технічний рівень виробництва потребує і відповідного рівня його організації. При цьому зростає роль експлуатаційної інформації про стан виробничих процесів, яка є основою для прийняття оперативних рішень, підвищує керованість виробничих процесів та забезпечує чіткість їх функціонування.

Ефективність управління досягається не лише внаслідок використання прогресивних методів ТО, скорочення витрат робочого часу, зменшення помилок інженерно-технічного складу, але й через підвищення рівня організаційної та технічної культури центрів ТО, удосконалення технології та організації виробництва.

Підтримка високого рівня надійності та БП сучасних ПС, а також впровадження прогресивних методів ТО не може бути забезпечено без всебічного використання методів та засобів діагностування АТ.

Об'єктивна та своєчасна оцінка технічного стану об'єктів експлуатації й прийняття обґрунтованого рішення про подальшу експлуатацію ПС або окремих його вузлів та систем можливі лише за умов комплексного використання різних методів діагностування.

Ці методи повинні ґрунтуватися на аналізі змінювання основних параметрів, які характеризують роботу систем та вузлів, інтенсивності виробітку ресурсу найбільш навантажених конструктивних елементів, результатів використання засобів неруйнівного контролю.

1.5.2. Аналіз ефективності процесу технічної експлуатації повітряних суден

Якість системи ТЕ ПС виявляється у процесі її функціонування, що складається з послідовних за часом змін станів експлуатації ПС: використання за призначенням (політ), різні види ТО, ремонт, збереження, транспортування, очікування потрапляння в кожний із цих станів і т. ін. Керування процесом технічної експлуатації (ПТЕ) забезпечується сукупністю правил підтримки найвигідніших режимів роботи об'єктів та призначення робіт з ТО відповідно до прийнятої стратегії ТЕ.

Ефективність ПТЕ є загальною характеристикою результатів функціонування системи ТЕ ПС, відображає рівень безпеки польотів й ефективності використання АТ і залежить від якості управління ПТЕ. Структура ПТЕ ПС може бути надана сукупністю станів експлуатації, які різняться залежно від можливості використання ПС та потреб їх в ТО (рис. 1.2), а також можливих переходів між ними, які реалізуються при керуванні ПТЕ за конкретних умов експлуатації.

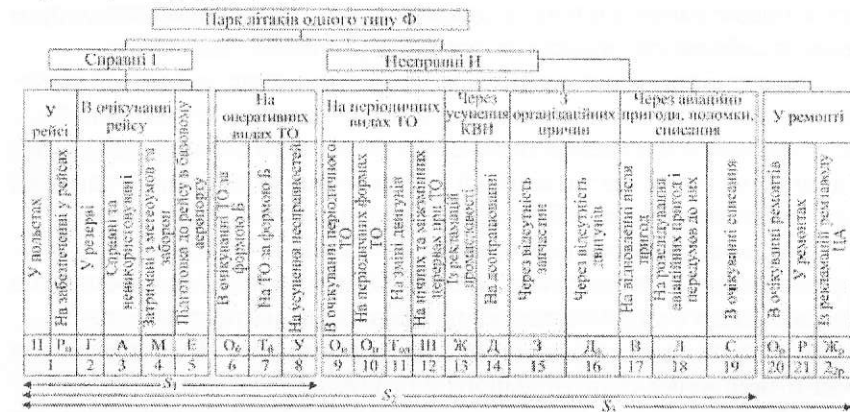


Рис. 1.2. Структура станів процесу ТЕ ПС

Рекомендується відокремлювати такі групи станів експлуатації:

S_1 — група станів експлуатації, яка включає рейс (К), очікування рейсу (Г, А, М), підготовку до рейсу (Е), оперативне ТО за формою Б (О₆, Т₆), усунення несправностей (У);

S_2 — група станів експлуатації, яка включає стани S_1 та стани періодичного ТО (О_п, Т_п, Т_{од}, Ш), простою з організаційних причин (З, Д_д), усунення конструктивно-виробничих недоліків (Ж, Д), простою через авіаційні пригоди (В, Л), списання (С);

S_3 — група станів експлуатації, яка включає всі стани, наведені на рис. 1.2.

Для оцінки ефективності ПТЕ використовують сукупність показників, які характеризують виконання основних вимог щодо забезпечення безпеки та регулярності польотів, ефективності використання та економічності експлуатації ПС.

У табл. 1.12 наведено показники ефективності ПТЕ та процесів ТО як основних складових систем ТЕ ПС.

Ефективність ПТЕ групи ПС, які перебувають у стані S_1 , характеризує досконалість процесів використання ПС за призначенням та виробничою діяльністю оперативних цехів організацій ТО.

Виробничу діяльність організацій ТО у цілому характеризує група S_2 . Досконалість ПТЕ усього приписного парку ПС оцінюється за групою станів S_3 .

Система інформаційного забезпечення аналізу ефективності ПТЕ ПС складається з чотирьох потоків інформації: про відмови та несправності виробів АТ, про затримки вильотів ПС, про затримки ПС у різних станах, про трудомісткість та вартість робіт з ТО в конкретних станах ПТЕ.

Статистичні дані результатів експлуатації конкретного типу ПС (відповідно до завдання) збирають за останні роки його експлуатації, використовуючи інформацію обліково-звітної документації експлуатантів чи самостійних організацій ТО.

Крім цього, потрібно мати дані про сумарний наліт приписного парку ПС (W) та середню тривалість безпосадкового польоту ($T_{бп}$) даного типу ПС, а також значеннями міжремонтного ресурсу ($R_{мр}$) та періодичності ТО (Φ_r), які встановлені керівною нормативно-технічною документацією.

Показники ефективності ПТЕ розраховують окремо для кожної з відокремлених груп станів експлуатації ($S_{jj} = \bar{1},3$) у такій послідовності:

1. Визначають частоти потрапляння ПС в i -й стан

$$\pi_i = n_i / \sum_{i=1}^N n_i,$$

де N — кількість станів експлуатації у відокремленій групі.

2. Визначають середній час перебування ПС в i -у стані:

$$\mu_i = t_i / n_i.$$

Для стану польоту (П), який входить у стан K (у рейсі), середнє напрацювання ПС за рейс обчислюється за формулою:

$$\mu_{\text{П}} = W / n_1,$$

де n_1 — кількість потраплянь ПС у стан K .

3. Визначають середні працевитрати в i -му стані:

$$\tau_{\text{ісеп}} = \tau_i / n_i.$$

Обчислення виконують для станів Е, Т_б, У, Т_п, Ж, Д, Р, Ж_р з урахуванням відокремленої групи станів S_j .

4. Визначають середні витрати коштів в i -му стані:

$$C_{\text{ісеп}} = C_i / n_i.$$

Обчислення виконують за станами, які вказані в п. 3.

5. Визначають середню кількість відмов та несправностей, які були виявлені в i -му стані:

$$d_{\text{ісеп}} = \sum_{j=1}^K d_{ij} / n_i,$$

де K — кількість відокремлених інших відмов та несправностей.

Обчислення виконують для станів П, Р_п, Е, Т_б, Т_п, Р з урахуванням відокремленої групи станів S_j . Доцільно класифікувати відмови (конструкційні, виробничі, експлуатаційні) та розрахувати відповідні значення $d_{\text{ісеп}}$, де індекс j вказує на відокремлену причину відмови або несправності.

6. Визначають середню кількість затримок відправлень в i -му стані

$$m_{\text{ісеп}} = \sum_{j=1}^l m_{ij} / n_i,$$

де l — кількість відокремлених причин затримок відправлень.

7. За формулами (табл. 1.12) обчислюють показники ефективності ПТЕ ПС.

Таблиця 1.12

Формули розрахунку показників ефективності ПТЕ ПС

| Найменування показника | Розрахункова формула | Примітки |
|-------------------------------------|--|---|
| Напрацювання на відмову | $T_n = \frac{\mu_{\text{П}}}{d_{\text{ісеп}}}; T_{nj} = \frac{\mu_{\text{П}}}{d_{\text{ісеп}j}}$ | $d_{\text{ісеп}}$ — середня кількість відмов та несправностей, які були виявлені в стані П; $d_{\text{ісеп}j}$ — середня кількість відмов та несправностей, які були виявлені в стані П за j -ї причини |
| Коефіцієнт використання | $K_u = \pi_1 \mu_{\text{П}} / \sum_{i=1}^N \pi_i \mu_i$ | — |
| Коефіцієнти можливого використання | $K_{\text{Вн}} = \frac{\pi_1 \mu_{\text{П}} + \sum_{j \in N_j} \pi_j \mu_j}{\sum_{i=1}^N \pi_i \mu_i}$ | N_j — множина станів, які включають Г, А, М (рис. 1.2) |
| Питомі простої на ТОіР | $K_{\text{П}} = \frac{\sum_{K \in N_K} \pi_K \mu_K}{\pi_1 \mu_{\text{П}}}$ | N_K — множина станів ТО |
| Коефіцієнт регулярності відправлень | $P_{\text{те}(E)} = 1 - \frac{m_{\text{ісеп}(E)}}{n_1};$ $P_{\text{те}(R)} = 1 - \frac{m_{\text{ісеп}(K)}}{\left(\frac{\mu_{\text{П}}}{T_{\text{бп}}} - 1\right) \pi_1};$ $P_{\text{те}} = 1 - \frac{m_{\text{ісеп}(E)} + m_{\text{ісеп}(K)}}{\mu_{\text{П}}} T_{\text{бп}};$ $P_{j(E)} = 1 - \frac{m_{\text{ісеп}j(E)}}{\pi_1};$ $P_{j(R)} = 1 - \frac{m_{\text{ісеп}j(K)}}{\left(\frac{\mu_{\text{П}}}{T_{\text{бп}}} - 1\right) \pi_1};$ $P_j = 1 - \frac{m_{\text{ісеп}j}}{\mu_{\text{П}}} T_{\text{бп}}$ | $m_{\text{ісеп}(E)}, m_{\text{ісеп}(K)}$ — відповідно кількість затримок відправлень в базовому та позабазовому аеропортах; $m_{\text{ісеп}j(E)}, m_{\text{ісеп}j(K)}$ — відповідно кількість затримок відправлень за j -ї причини в базовому та позабазовому аеропортах |

Закінчення табл. 1.12

| Найменування показника | Розрахункова формула | Примітки |
|--------------------------|--|----------|
| Питома трудомісткість ТО | $\tau_{\text{питТО}} = \frac{\sum_{K \in N_K} \pi_K \tau_{K\text{сер}}}{\pi_1 \mu_{1n}}$ | |
| Питома вартість ТО | $C_{\text{питТО}} = \frac{\sum_{K \in N_K} \pi_K C_{K\text{сер}}}{\pi_1 \mu_{1n}}$ | |

Рівень ефективності ПТЕ ПС аналізують послідовно для кожної з відокремлених груп станів експлуатації (починаючи з S_1). Рівень ефективності ПТЕ ПС оцінюється відносним показником

$$q_i = q_i / q_{i6},$$

де q_i — розрахункове значення показника ефективності; q_{i6} — базове значення показника ефективності, яке визначається завданням на виконання розрахунку. Наприклад, для показника K_u маємо:

$$\bar{K}_u = \frac{K_u}{K_{u6}}.$$

Якщо $\bar{q}_i < 1$, то маємо зниження рівня ефективності ПТЕ ПС за показником, що розглядається. Винятки складаються з показників K_{ub} , $\tau_{\text{пит}}$ та $C_{\text{пит}}$, для яких значення, що менше одиниці, відповідає підвищенню рівня ефективності ПТЕ ПС.

Аналіз зміни рівня ефективності ПТЕ ПС зводиться до розв'язання таких взаємопов'язаних задач:

- виявлення чинників (причин), які зумовили ці зміни за кожним із станів експлуатації;
- оцінки ступеня впливу окремих станів експлуатації на показники ефективності ПТЕ;
- визначення можливих заходів, направлених на підвищення рівня ефективності ПТЕ.

Аналіз зміни рівня ефективності ПТЕ, насамперед звертають увагу на показники БП та регулярності відправлень. Якщо спостерігається зниження рівня ефективності за цими показниками, то передусім розробляють відповідні заходи в цьому напрямку.

Аналізуючи зміни рівня ефективності ПТЕ за показниками використання та економічної ефективності, ступінь впливу окремих станів експлуатації на значення цих показників оцінюють:

- за витратами часу — величиною $\pi_i \mu_i$;
- за трудомісткістю — величиною $\pi_i \tau_i$;
- за вартістю — величиною $\pi_i c_i$.

Стани, для яких вказані величини є найбільшими, розглядають як найбільш значущі щодо впливу на значення відповідних показників ефективності ПТЕ. Тому заходи щодо підвищення ефективності ПТЕ проводять послідовно за станами експлуатації відповідно до порядку зменшення вказаних величин.

Ефективність запропонованих заходів щодо підвищення рівня ефективності ПТЕ ПС оцінюють шляхом розрахунку відповідних показників (табл. 1.12) з новими вихідними даними. При цьому як базові значення показників ефективності q_{i6} набувають значення, які спостерігалися до впровадження запропонованих заходів.

1.6. Забезпечення надійності повітряних суден та авіаційних двигунів

1.6.1. Етапи формування надійності авіаційної техніки

Формування надійності виробів АТ є складним процесом, що залежить від багатьох технічних та організаційних чинників, які охоплюють етапи проектування, виробництва та експлуатації. Різні етапи життєвого циклу виробів АТ не можна розглядати окремо: вони взаємопов'язані і складають елементи єдиної системи керування надійністю ПС та авіаційних двигунів (АД).

Так, аналіз надійності виробів в умовах експлуатації є необхідною ланкою оцінки якості виробів, важливою складовою проведення робіт із подальшого їхнього удосконалення та основою розробки нових конструкцій АТ.

Надійність АТ забезпечують унаслідок підвищення утомлювальної міцності, термостійкості, зносостійкості, віброміцності елементів конструкції, раціонального вибору схем функціональних систем, вдосконалення технології виготовлення й організації ТО, розробки і застосування ефективних засобів і методів діагностування об'єктів експлуатації та низки інших чинників. Надійність технічних засобів значною мірою залежить від технології їх виробництва. Тому слід розглядати технологічні процеси виготовлення конкретного виробу як елементи єдиної процедури наскрізного проектування. При цьому виріб потрібно проектувати, орієнтуючись не на абстрактний, а на конкретний технологічний процес, на конкретні виробничі умови й потужності.

Розглядаючи проблему забезпечення надійності ПС, варто передбачати оптимальні розподіли витрат на проектування, виробництво та експлуатацію АТ задля досягнення максимального народногосподарського ефекту та сприяє зростанню безпеки і регулярності польотів, а також ефективності використання АТ.

Серед усіх проблем забезпечення надійності АТ, охоплюючи етапи проектування, виробництва та експлуатації (табл. 1.13), особливу роль відіграють методи теорії надійності.

Аналіз головних принципів проектування технічних пристроїв та досвіду їх експлуатації дозволяє встановити певні логічні правила конструювання виробів АТ, які втілюються в раціональному поєднанні певних характеристик і експлуатаційних властивостей виробів, що дозволяє найефективніше використовувати їх в експлуатації.

1.6.2. Конструктивно-технологічні аспекти забезпечення надійності авіаційної техніки

Науково-технічний прогрес веде не тільки до зміни техніки й технології, але й впливає на всю систему організації та керування процесами проектування АТ.

Основою комплексу робіт із забезпечення надійності об'єктів експлуатації, що розробляються, є результати аналізу експлуатаційної інформації про досягнутий рівень надійності виробів-прототипів, граничних характеристик їх функціонування, причин та ознак відмов, умов експлуатації виробів.

Визначаючи вимоги до експлуатації АТ, спираються на досягнуті результати в галузі проектування, виробництва та експлуатації АТ та враховують тенденції їхнього розвитку.

Для підвищення надійності широко використовують структурні методи, у тому числі елементну, схемну, функціональну та інформаційну надлишковість. Оптимальність прийнятих рішень обґрунтовують відповідними розрахунками, випробуваннями та спеціальними експериментами. Моделювання складних процесів функціонування систем на ЕОМ дозволяє імітувати відмови окремих елементів, визначати їх функціональну значущість, аналізувати працездатність систем за різних поєднань технічних станів елементів та перевіряти ступінь відповідності прийнятих рішень установленим вимогам.

Таблиця 1.13

Основні напрями забезпечення надійності АТ

| Етап проектування | Етап виробництва | Етап експлуатації |
|---|--|--|
| Встановлення обґрунтованих вимог щодо надійності виробів АТ | Забезпечення своєчасності та повноти підготовки виробництва нових виробів АТ | Підвищення рівня спеціальної підготовки інженерно-технічного складу |
| Оптимальний розподіл вимог щодо надійності між елементами системи | Вибір оптимальних режимів технологічних процесів | Підвищення якості технічної документації |
| Вибір оптимальних режимів роботи виробів АТ | Удосконалення технології виробництва | Удосконалення планування та керування постачанням запасних частин |
| Вибір обґрунтованих допусків на зміни параметрів виробів | Механізація та автоматизація виробничих процесів | Удосконалення організації ТО АТ |
| Захист виробів від впливів зовнішнього середовища | Розробка та впровадження комплексних систем керування виробництвом | Оптимізація стратегій та методів ТО АТ |
| Забезпечення високої ремонтопридатності АТ | Оптимізація методів і режимів контролю якості продукції | Оптимальне планування використання парку ПС |
| Розробка нових конструктивних рішень | Тренування й припрацювання виробів АТ | Впровадження засобів механізації та автоматизації процесів ТО |
| Оптимальне резервування виробів і систем АТ | Метрологічне забезпечення виробничих процесів | Впровадження ефективних засобів та методів діагностування і контролю технічного стану виробів АТ |

| Етап проектування | Етап виробництва | Етап експлуатації |
|--|--|---|
| Розробка ефективних систем контролю та діагностування виробів АТ | Забезпечення ритмічної роботи ділянок, цехів та відділів | Керування якістю ТО АТ |
| Стандартизація та уніфікація виробів | Керування якістю продукції | Оптимізація режимів ТО АТ |
| Застосування нових матеріалів | Розробка та впровадження стандартів підприємства | Вдосконалення методів пошуку відмов і несправностей виробів АТ |
| Розробка конструктивних рішень, які виключають | Поліпшення умов та забезпечення охорони праці | Керування надійністю виробів АТ |
| | Контроль якості вихідних матеріалів | Впровадження автоматизованих систем управління процесами ТЕ АТ Впровадження автоматизованих систем інформаційного забезпечення |

Важливим напрямом зменшення експлуатаційних витрат і підвищення надійності ПС є забезпечення проєктованих виробів високою ремонтпридатністю, ефективною системою контролю й діагностування АТ. Такі вимоги до довговічності виробів забезпечують унаслідок оптимального вибору режимів роботи комплектувальних елементів, захисту виробів від шкідливих впливів зовнішнього середовища, вибору матеріалів і обґрунтованих допусків на зміну параметрів виробу у процесі експлуатації.

Забезпечення довговічності механічних систем, відмови яких пов'язані зі зношуванням, старінням та утомлюваністю елементів конструкцій, має низку особливостей. При їхній конструктивній розробці особливу увагу приділяють:

- вибору принципової схеми роботи вузлів механічних систем з урахуванням зносостійкості, циклічної міцності, зовнішнього середовища;
- вибору поєднань матеріалів у парах тертя;
- розрахунку розмірів та обґрунтуванню конфігурації деталей з урахуванням локальної і загальної міцності;
- розробці заходів щодо зниження перевантажень;
- організації систем змащування, захисту від забруднювального впливу середовища та перегріву.

Перед конструктором на стадії проєктування АТ з урахуванням утомлювальної довговічності на засадах концепції припустимих пошкоджень постають чотири основні завдання: визначення спектра експлуатаційних навантажень, планування ресурсних випробувань, визначення характеристик витривалості та розрахунок параметрів поширення утомлювальних тріщин.

Спектр зовнішніх навантажень та програм випробувань елементів конструкції аналізують, широко застосовуючи ЕОМ. Це дозволяє досягнути різноманітності комбінацій навантажень і різних умов експлуатації при складанні програм стендових випробувань. Необхідними умовами забезпечення відповідності конструкції літака до концепції припустимого пошкодження є визначення аналітичними й експериментальними методами зон розташування експлуатаційних пошкоджень, типів, розмірів та інтенсивності пошкоджень, а також оцінка їх контролепридатності. На підставі цієї інформації визначають потрібну періодичність, чутливість контролю, залишкову міцність конструкцій, які є основою для формування

програм ТО. Обираючи матеріал для деталей виробів, покриттів, методів хіміко-термічної та інших типів обробки поверхневих шарів, беруть до уваги не лише їх вихідні механічні й теплофізичні властивості, але й зміни цих властивостей при експлуатації виробів унаслідок фізико-хімічних процесів, що відбуваються в матеріалах, впливу підвищених температур та інших чинників. Залежно від місця застосування матеріалів висуваються відповідні вимоги до їх міцності, вагової ефективності, жаростійкості, теплопровідності, тепломісткості, корозійної стійкості, термічної утомлюваності, обробки сучасними технологічними методами. Уповільнення процесів старіння чи локалізація їх впливу дозволяє ефективно збільшити довговічність виробів і систем, у зв'язку з чим ретельно вивчають особливості старіння різних конструкцій і матеріалів, визначають динаміку процесів старіння та характеристик об'єктів експлуатації.

Одним з найважливіших чинників забезпечення надійності виробів АТ на етапі виробництва є суворе дотримання технології у процесі масового виробництва виробів та постійне її вдосконалення. Деталі, вузли чи вироби, виготовлені відповідно до вимог конструкторської документації, але різними технологічними процесами, мають різні експлуатаційні властивості й показники надійності.

Експлуатаційні властивості деталей та вузлів виробів АТ істотно залежать від якості їхніх поверхонь зіткнення і поверхневого шару, які визначаються геометричними (макровідхилення, хвилястість, жорсткість) та фізико-механічними (мікротвердість, залишкові напруги, структура) характеристиками. Усі ці параметри залежать від технології обробки деталей та збирання виробу.

У технології машинобудування існують значні резерви поліпшення експлуатаційних властивостей поверхонь деталей машин. Удосконалюються такі прогресивні методи, як поверхневе пластичне деформування, вібронакопчування, електромеханічна, магнітоабразивна, електродіамантова та інші види обробки. Широкі можливості та доцільність застосування цих методів зараз визначаються не лише умовами забезпечення високої продуктивності, а й створенням поверхонь з оптимальною несучою здатністю.

Процес підвищення надійності виробів АТ є безперервним і відбувається протягом усього часу існування виробів певного типу. Забезпечення нормативних вимог надійності виробів АТ не виключає доцільності робіт з її подальшого збільшення.

2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЧАСТИН ІЗ НАПРЯМУ «СЕРТИФІКАЦІЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ»

У загальному випадку сертифікаційна частина ДП або ДР може стосуватися:

а) *суб'єкта регулювання*, у разі якого виступає повноважна авіаційна влада держави (у загальному випадку це Civil Aviation Authority (CAA) та, за умови, що це передбачено законодавством, уповноважена цією владою юридична або фізична особа;

б) *об'єкта регулювання*, у ролі якого можуть виступати:

– *об'єкт відповідальності* (наприклад, ПС та/або його компоненти);

– *суб'єкт відповідальності* (наприклад, розробник, виробник, організація з ТО, експлуатант).

При цьому через наявність взаємозв'язку як між конкретними об'єктом та суб'єктом відповідальності, так і між об'єктами регулювання взагалі, в рамках сертифікаційної частини ДП або ДР, залежно від теми, може розглядатись один або одночасно декілька взаємопов'язаних об'єктів регулювання.

При викладенні матеріалу цих методичних рекомендацій подаються посилання на відповідні вимоги Європейської агенції з безпеки авіації (European Aviation Safety Agency — EASA) і належні Part (частини/вимоги), що впроваджуються або впроваджені в Україні, а також відповідні

Прийняті методи встановлення відповідності (Acceptable Means of Compliance — AMC) та Методичні/Керівні матеріали (Guidance Material — GM) до цих Частих, наведені на офіційному сайті EASA [11].

Переклад частини з цих вимог (Part), а також AMC та GM до них можна знайти на офіційному сайті Державної авіаційної служби (ДАС) України [12].

У цих методичних рекомендаціях детально розглянуто лише такі окремі теми частин ДП чи ДР, які стосуються проблем схвалення/сертифікації об'єктів регулювання ЛП та які вирішуються при перебуванні АТ на стадії експлуатації.

Обсяг роботи має бути 15–20 сторінок, що передбачені обсягами для ДП та ДР [1].

2.1. Рекомендації щодо схвалення конструкції об'єкта авіаційної техніки

Під час проведення *схвалення/сертифікації конструкції об'єкта АТ* або *змін до схваленої конструкції* такого об'єкта необхідні відповідні вимоги як до конструкції ПС у цілому, так і до його компонентів. Вони готуються та видаються САА у вигляді Норм ЛП (у рамках EASA це відповідні CS (Certification Specifications) для ПС та European Technical Standard Orders (ETSO) для компонентів [13]). При цьому відповідальність САА включає відповідальність як за формування, так і за підтримання в актуальному стані (шляхом поточного оцінювання та проведення відповідних коригувань, змін та доповнень):

- Норм ЛП для об'єктів АТ;
- процедур проведення схвалення/сертифікації конструкції об'єктів АТ (ПС у цілому та його компонентів), з урахуванням їх класифікації як об'єктів схвалення/сертифікації, включаючи визначення застосовності вимог Норм ЛП до конкретної конструкції об'єкта АТ та схвалення цих вимог у вигляді нормативного базису схвалення/сертифікації конкретного об'єкта АТ та внесення змін до таких базисів (викладаються у Part-21 [14]).

Якщо ДП або ДР стосується розробок, пов'язаних із *змiнами схваленої конструкції об'єкта АТ*, у сертифікаційній частині доцільно розкрити такі питання:

- класифікувати зміну (головна чи другорядна);
- навести подані у відповідній частині Part-21 критерії, відповідно до яких така класифікація проведена, та надати посилання на відповідні вимоги Part-21, та AMC і GM [15];
- визначити юридичних осіб, які згідно з вимогами Part-21 можуть виступати в ролі заявника, враховуючи результати класифікації зміни та особу заявника;
- викласти процедуру схвалення зміни у вигляді послідовності необхідних сертифікаційних робіт та складу документів, що оформляються після виконання відповідних частин цих робіт¹;
- визначити утримувача схвалення та відповідно до цього — його привілеї та зобов'язання.

¹ Деякі з таких документів можуть бути опрацьовані більш детально, якщо це необхідно для розкриття змісту робіт, проведених у ДП чи ДР.

Слід узяти до уваги, що в ролі змін до схваленої конструкції об'єкта АТ за Part-21 виступають також і зміни до відповідної експлуатаційної документації (наприклад, Керівництва/Інструкції з підтримання ЛП — Instruction for Continuing Airworthiness (ICA) або Керівництва/Інструкції з ТЕ, Керівництва/Інструкції з ремонту — Repair Manual (RM), Головного переліку мінімального обладнання — Master Minimum Equipment List (MMEL) та ін.). Тому в рамках опису процедур схвалення/сертифікації зміни необхідно також визначити:

- склад експлуатаційних документів об'єкта АТ, до яких мають бути внесені зміни/коригування для відображення змін його конструкції;
- склад частин та параграфів Керівництва з діяльності відповідного суб'єкта відповідальності, до яких необхідно внести зміни/коригування у зв'язку з впровадженням зміни до конструкції об'єктів АТ.

Зміни експлуатаційної документації (включаючи ремонтну документацію) щодо конструкції об'єктів АТ (ПС та/або його компонентів), упровадження нової чи зміненої технології виконання робіт, застосування нових засобів виконання робіт, а також процедур та алгоритмів аналізу та обробки інформації про об'єкт експлуатації є окремими випадками вказаного вище.

2.2. Рекомендації щодо схвалення суб'єкта відповідальності

При *схваленні/сертифікації суб'єкта відповідальності* (наприклад, організації з ТО чи експлуатанта) необхідні вимоги до нього, а також процедури проведення схвалення/сертифікації та внесення змін до такого схвалення/сертифіката викладаються, як правило, безпосередньо у відповідних Part (наприклад, Part-145 — організації з ТО, EU OPS — експлуатанти, Part-147 — організації з навчання ТО), до яких додають відповідні AMC та GM.

До обов'язків схваленого суб'єкта відповідальності входять:

- а) проведення схвалення/сертифікації об'єктів відповідальності, що передбачені чинними авіаційними правилами (АП) для такого суб'єкта відповідальності;
- б) виконання зобов'язань за сертифікатом схвалення як утримувача відповідного(их) схвалення(нь)/сертифіката(ів), виданого(их) САА об'єкту(ам) відповідальності, включаючи внесення змін до такого схвалення.

2.2.1. Схвалення робіт з технічного обслуговування за умов спеціальних випадків

До спеціальних випадків, за яких виникає потреба специфічного наділення повноваженнями для сертифікації робіт з ТО у Part-145 (145.A.30.(j) [15]), віднесено:

а) випадки, коли ПС експлуатується поза місць, що входять до схвалення організації з ТО;

б) непередбачувані випадки, коли ПС приземлилося в місцях, які не є головною базою і де відсутній необхідний власний повноважний персонал (authorized personal) для сертифікації робіт з ТО та видачі Сертифіката передачі ПС до експлуатації — Certificate of Release to Service — (CRS).

Для визначених вище спеціальних випадків у Part-145 розглядають відповідно два способи наділення сертифікаційними повноваженнями:

1) обмежене наділення сертифікаційними повноваженнями (limited certification authorisation) щодо робіт ТО командира ПС та/або бортінженера;

2) одноразове наділення сертифікаційними повноваженнями (one-off certification authorisation) щодо робіт ТО (вповноваження сторонньої особи).

Ці способи наділення повноваженнями щодо сертифікації робіт з ТО застосовують за рішенням експлуатанта у взаємодії з підрядною організацією з ТО, яка проводить обслуговування ПС експлуатанта, шляхом внесення у Керівництво організації з ТО — Maintenance Organisation Exposition (МОЕ) відповідних процедур та їх схвалення САА при схваленні МОЕ.

Використання цих способів наділення повноваженнями щодо сертифікації робіт з ТО забезпечують умови:

– для зниження витрат на ТО у позабазових аеропортах шляхом виключення необхідності укладання субпідрядних договорів із відповідними організаціями з ТО в таких аеропортах;

– для ефективного формування та використання Переліку мінімального обладнання — Minimum Equipment List — (MEL) [16] в аеропортах, де відсутній необхідний власний уповноважений персонал для сертифікації робіт з ТО, необхідність виконання яких виникла через непередбачувані випадки.

Для цілей 145.A.30.(j) «непередбачений» означає, що посадка ПС не могла бути своєчасно передбачена експлуатантом, оскільки дефект у системі, яка досі вважалась надійною, був неочікуваним.

При розгляді *обмеженого наділення сертифікаційними повноваженнями* (limited certification authorisation) щодо робіт ТО командира ПС та/або бортінженера в сертифікаційній частині ДП чи ДР, виходячи з конкретних умов проведення експлуатації ПС, що розглядаються, викладається таке:

– обґрунтування можливості та доцільності застосування обмеженого наділення сертифікаційними повноваженнями щодо сертифікації робіт з ТО членом екіпажу (командиром ПС та/або бортінженером);

– вимоги до ліцензій членів екіпажу і досвіду їх льотної роботи на конкретному типі ПС;

– склад завдань з ТО, що включаються до обмеженого наділення сертифікаційними повноваженнями;

– вимоги до складу та тривалості проведення теоретичного та практичного початкового, поточного та повторного навчання особи, якій надаються або подовжуються повноваження у вигляді відповідного пакета програм проведення такого навчання або його завершеної частини;

– обмеження щодо строків дії повноважень (зазвичай до 12 місяців) та їх подовження з урахуванням типу ПС, досвіду льотної роботи та застосування повноважень особою, що їх отримує, а також критерії, за якими визначаються такі обмеження;

– процедури виконання цих вимог у МОЕ, які забезпечують отримання підтвердження того, що було одержано достатнє практичне навчання, яке гарантує, що командир ПС або бортінженер може виконати визначені завдання з ТО згідно зі стандартами, що вимагаються (у тому числі оцінювання ефективності наділення повноваженнями з використанням процедур МОЕ).

При розгляді *одноразового наділення сертифікаційними повноваженнями* (one-off certification authorisation) щодо робіт ТО в сертифікаційній частині ДП чи ДР, виходячи з конкретних умов проведення експлуатації ПС, що розглядаються, викладається таке:

– обґрунтування можливості та доцільності за конкретних умов застосування обмеженого наділення сертифікаційними повноваженнями щодо сертифікації робіт з ТО;

– обґрунтування складу завдань із ТО, що включаються до обмеженого наділення сертифікаційними повноваженнями;

– детальний опис у МОЕ:

– процедури одноразового наділення сертифікаційним повноваженням особи, яка не працює в організації з ТО та/або має допуск на видачу CRS на відповідне завдання ТО за типом ПС або не має такого допуску. Така процедура має передбачати дії: екіпажу; відділу якості організації з ТО, що обслуговує ПС щодо персональних кваліфікаційних даних особи, яка запропонована для наділення повноваженнями; технічних деталей, що стосуються виконання робіт, які визначено та передано персоналу, що отримує повноваження щодо їх сертифікації (детальні поетапні технологічні карти (worksheet); вся необхідна інформація та керівний матеріал, який стосується даних для ТО та будь-які спеціальні технічні інструкції для виконання запланованого завдання з ТО, координування та контролю виконання всіх дій з ТО на тому місці, де воно виконуватиметься в межах одноразового наділення повноваженнями);

– приймання виконаних робіт з ТО (підписування детальних поетапних технологічних карт (worksheet) та перевірка виконання робіт за завданням при поверненні на виробничу базу організації з ТО, схваленої за Part-145) шляхом проведення візуального огляду та/або перевірки нормального функціонування системи;

– способи гарантування того, що будь-яке таке ТО, що може вплинути на БП, ще раз перевірено відповідно схваленою організацією з ТО;

– надання повідомлення до САА про всі зазначені вище випадки упродовж семи діб після одноразового наділення сертифікаційним повноваженням.

2.2.2. Використання запасних частин

Для частин або компонентів ПС, що розроблені та виготовлені у США, існує схвалення Civil Aviation Authority (FAA) їх конструкції та виробництва — Parts Manufacturer Approval (PMA).

PMA схвалення має місце за умов, коли FAA розглянуло:

1) конструкцію частини ПС щодо забезпечення її безпеки і відповідності вимогам FAA;

2) систему якості виробництва частини ПС щодо забезпечення впевненості щодо того, що кожна частина, що виробляється, перевіряється на відповідність схваленим FAA даним про конструкцію.

Використання PMA у Aircraft on the Ground (AOG) ситуаціях для ПС, що зареєстровані в EASA. AOG-ситуація — це ситуація, коли ПС простояє на землі через наявність на ньому щонайменш однієї відмови, вильоти з якою для ПС не можливі і допускається за умов:

– узгодження питання з лізингодавцем;

– наявності схвального пакета документів з боку EASA та Bermuda Department of Civil Aviation (BDCA) як держави, де зареєстровано ПС²;

– тільки в конструкціях, що не впливають на ЛП.

Процедура використання PMA-частин у AOG-ситуаціях не відрізняється від стандартної процедури використання запчастин. Обмеження на використання PMA: законодавство EASA та лізингова угода, законодавство BDCA.

У законодавстві BDCA нема специфічних заборон на використання PMA-частин. Однак є умови щодо установки на ПС таких частин.

Законодавство EASA допускає можливість використання PMA-частин, але лише в певних елементах, що не впливають на ЛП.

Лізингові угоди здебільшого забороняють використання PMA-частин, особливо в елементах авіаційних двигунів. Однак законодавством EASA [17] за згодою сторін допускається використання PMA-частин, наприклад, у декоративних елементах інтер'єру ПС. Для цього, для уникнення питань при поверненні ПС, від лізингодавця за його підписом повинні бути отримані офіційні листи про дозвіл щодо використання PMA-частин.

Схвалення конструкції окремих PMA-частин провадиться EASA для організацій, які знаходяться під регуляторним наглядом FAA та для частин, які розроблені в межах чинної системи PMA-частин. Для таких частин забезпечено:

а) PMA-частини не є «критичними компонентами» (critical component). При цьому «критичними компонентами» вважаються частини, які визначені як критичні утримувачем схвалення конст-

² Для Росії, більшість ПС якої зареєстрована у BDCA.

рукції (design approval holder) у процесі схвалення конструкції або в іншому випадку — САА, що експортує компонент. Зазвичай такі компоненти включають частини, для яких напрацювання до заміни, інтервали інспекції або процедури, пов'язані з цим визначені у частині «Обмеження з ЛП» (Airworthiness Limitations section) або Сертифікаційні вимоги до ТО (certification maintenance requirements) (CMR) Керівництва з ТО виробника (manufacturer's maintenance manual) або у Інструкції з підтримання ЛП (Instructions for Continued Airworthiness).

Твердження «Ця РМА-частина не є критичним компонентом» має бути записаним у блоці 13 FAA Form 8130-3; або

б) РМА-частина відповідає даним щодо конструкції, отриманим за ліцензійною угодою (licensing agreement) від утримувача схвалення конструкції наданого FAA згідно з 14 CFR § 21.303(c)(4) FAR. Твердження «Процедура за ліцензійною угодою з утримувачем схвалення конструкції від FAA» має бути записано у блоці 13 FAA Form 8130-3; або

в) утримувач РМА схвалення може показати, що частина отримала схвалення шляхом зміни конструкції або Додаткового сертифіката типу Supplemental Type Certificate (STC) або таке схвалення було проведено раніше 28 вересня 2003 року будь-якою національною САА держави-члена Європейського Союзу. Посилання на таке схвалення має бути записано у блоці 13 FAA Form 8130-3.

Отже, на ринку існує безліч постачальників РМА-частин для різних типів ПС та їх систем. Однак навіть тимчасова установка РМА-частин без супроводжувальної схвальної документації заборонена.

Постійне встановлення допускається при розробці Minor SB (Service Bulletin — сервісний бюлетень) або STC залежно від об'єму модифікації.

Установка РМА-частини має бути легалізована, тобто повинна бути сертифікаційна документація як на РМА-частину, так і на її встановлення.

$$\text{Значення функції } \Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

| X | Сотенна частка | | | | |
|-----|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0,0 | 0,0000 | 0,0159 | 0,0319 | 0,0478 | 0,0638 |
| 0,1 | 0,0797 | 0,0955 | 0,1113 | 0,1271 | 0,1428 |
| 0,2 | 0,1585 | 0,1741 | 0,1897 | 0,2061 | 0,2205 |
| 0,3 | 0,2358 | 0,2510 | 0,2661 | 0,2812 | 0,2960 |
| 0,4 | 0,3108 | 0,3255 | 0,3401 | 0,3545 | 0,3688 |
| 0,5 | 0,3829 | 0,3969 | 0,4108 | 0,4245 | 0,4381 |
| 0,6 | 0,4515 | 0,4647 | 0,4778 | 0,4908 | 0,5035 |
| 0,7 | 0,5161 | 0,5385 | 0,5407 | 0,5527 | 0,5646 |
| 0,8 | 0,5763 | 0,5878 | 0,5991 | 0,6102 | 0,6211 |
| 0,9 | 0,6319 | 0,6424 | 0,6528 | 0,6628 | 0,6729 |
| 1,0 | 0,6827 | 0,6923 | 0,7017 | 0,7109 | 0,7199 |
| 1,1 | 0,7287 | 0,7373 | 0,7457 | 0,7539 | 0,7620 |
| 1,2 | 0,7699 | 0,7775 | 0,7850 | 0,7923 | 0,7994 |
| 1,3 | 0,8064 | 0,8132 | 0,8197 | 0,8262 | 0,8324 |
| 1,4 | 0,8385 | 0,8444 | 0,8501 | 0,8557 | 0,8611 |
| 1,5 | 0,8664 | 0,8715 | 0,8764 | 0,8812 | 0,8859 |
| 1,6 | 0,8904 | 0,8948 | 0,8990 | 0,9031 | 0,9079 |
| 1,7 | 0,91087 | 0,91557 | 0,91714 | 0,92159 | 0,92492 |
| 1,8 | 0,92814 | 0,93124 | 0,93423 | 0,93711 | 0,93989 |
| 1,9 | 0,94257 | 0,94514 | 0,94762 | 0,95000 | 0,95230 |
| 2,0 | 0,95450 | 0,95662 | 0,95865 | 0,96060 | 0,96247 |
| 2,1 | 0,96427 | 0,96599 | 0,96765 | 0,96923 | 0,97074 |
| 2,2 | 0,97219 | 0,97354 | 0,97491 | 0,97619 | 0,97739 |
| 2,3 | 0,97855 | 0,97966 | 0,98072 | 0,98172 | 0,98269 |
| 2,4 | 0,98360 | 0,98449 | 0,98534 | 0,98611 | 0,98686 |
| 2,5 | 0,98758 | 0,98825 | 0,98891 | 0,98959 | 0,99012 |
| 2,6 | 0,99068 | 0,99121 | 0,99171 | 0,99212 | 0,99263 |
| 2,7 | 0,99207 | 0,99347 | 0,99386 | 0,99422 | 0,99456 |
| 2,8 | 0,98490 | 0,99520 | 0,99549 | 0,99576 | 0,99602 |
| 2,9 | 0,99627 | 0,99650 | 0,99672 | 0,99692 | 0,99712 |
| 3,0 | 0,99730 | 0,99747 | 0,99763 | 0,99779 | 0,99793 |

Значення щільності ймовірності $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$

| X | Сотенна частка | | | | |
|-----|----------------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0,0 | 0,3989 | 0,3989 | 0,3986 | 0,3982 | 0,3977 |
| 0,1 | 0,3970 | 0,3961 | 0,3951 | 0,3939 | 0,3925 |
| 0,2 | 0,3910 | 0,3894 | 0,3876 | 0,3857 | 0,3836 |
| 0,3 | 0,3814 | 0,3790 | 0,3765 | 0,3739 | 0,3712 |
| 0,4 | 0,3683 | 0,3653 | 0,3621 | 0,3589 | 0,3555 |
| 0,5 | 0,3521 | 0,3485 | 0,3448 | 0,3410 | 0,3372 |
| 0,6 | 0,3332 | 0,3292 | 0,3251 | 0,3209 | 0,3166 |
| 0,7 | 0,3123 | 0,3079 | 0,3034 | 0,2989 | 0,2943 |
| 0,8 | 0,2897 | 0,2850 | 0,2803 | 0,2756 | 0,2709 |
| 0,9 | 0,2661 | 0,2613 | 0,2556 | 0,2516 | 0,2468 |
| 1,0 | 0,2420 | 0,2371 | 0,2323 | 0,2275 | 0,2227 |
| 1,1 | 0,2179 | 0,2131 | 0,2083 | 0,2036 | 0,1989 |
| 1,2 | 0,1942 | 0,1895 | 0,1849 | 0,1804 | 0,1759 |
| 1,3 | 0,1714 | 0,1669 | 0,1626 | 0,1582 | 0,1539 |
| 1,4 | 0,1497 | 0,1456 | 0,1415 | 0,1374 | 0,1334 |
| 1,5 | 0,1295 | 0,1257 | 0,1219 | 0,1182 | 0,1145 |
| 1,6 | 0,1109 | 0,1074 | 0,1040 | 0,1006 | 0,0973 |
| 1,7 | 0,0940 | 0,0909 | 0,0878 | 0,0848 | 0,0818 |
| 1,8 | 0,0790 | 0,0761 | 0,0734 | 0,0707 | 0,0681 |
| 1,9 | 0,0656 | 0,0632 | 0,0608 | 0,0584 | 0,0562 |
| 2,0 | 0,0540 | 0,0519 | 0,0498 | 0,0478 | 0,0459 |
| 2,1 | 0,0440 | 0,0422 | 0,0410 | 0,0387 | 0,0371 |
| 2,2 | 0,0355 | 0,0339 | 0,0325 | 0,0310 | 0,0297 |
| 2,3 | 0,0283 | 0,0270 | 0,0258 | 0,0246 | 0,0235 |
| 2,4 | 0,0224 | 0,0213 | 0,0203 | 0,0194 | 0,0184 |
| 2,5 | 0,0175 | 0,0167 | 0,0158 | 0,0151 | 0,0143 |
| 2,6 | 0,0136 | 0,0125 | 0,0122 | 0,0116 | 0,0110 |
| 2,7 | 0,0104 | 0,0099 | 0,0093 | 0,0088 | 0,0084 |
| 2,8 | 0,0079 | 0,0075 | 0,0071 | 0,0071 | 0,0063 |
| 2,9 | 0,0060 | 0,0056 | 0,0053 | 0,0050 | 0,0047 |
| 3,0 | 0,0044 | 0,0042 | 0,0039 | 0,0037 | 0,0035 |

| q_i | $-q_i \log_2 q_i$ | q_i | $-q_i \log_2 q_i$ |
|-------|-------------------|-------|-------------------|
| 0 | 0 | 0,31 | 0,5238 |
| 0,01 | 0,0664 | 0,32 | 0,5260 |
| 0,02 | 0,1128 | 0,33 | 0,5278 |
| 0,03 | 0,1518 | 0,34 | 0,5294 |
| 0,04 | 0,1858 | 0,35 | 0,5301 |
| 0,05 | 0,2161 | 0,36 | 0,5306 |
| 0,06 | 0,2435 | 0,37 | 0,5307 |
| 0,07 | 0,2686 | 0,38 | 0,5305 |
| 0,08 | 0,2915 | 0,39 | 0,5298 |
| 0,09 | 0,3126 | 0,40 | 0,5288 |
| 0,10 | 0,3322 | 0,41 | 0,5274 |
| 0,11 | 0,3403 | 0,42 | 0,5256 |
| 0,12 | 0,3671 | 0,43 | 0,5236 |
| 0,13 | 0,3826 | 0,44 | 0,5210 |
| 0,14 | 0,3971 | 0,45 | 0,5184 |
| 0,15 | 0,4105 | 0,46 | 0,5153 |
| 0,16 | 0,4230 | 0,47 | 0,5120 |
| 0,17 | 0,4346 | 0,48 | 0,5083 |
| 0,18 | 0,4453 | 0,49 | 0,5043 |
| 0,19 | 0,4552 | 0,50 | 0,5000 |
| 0,20 | 0,4644 | 0,50 | 0,5000 |
| 0,21 | 0,4728 | 0,51 | 0,4954 |
| 0,22 | 0,4806 | 0,52 | 0,4906 |
| 0,23 | 0,4877 | 0,53 | 0,4854 |
| 0,24 | 0,4941 | 0,54 | 0,4800 |
| 0,25 | 0,5000 | 0,55 | 0,4744 |
| 0,26 | 0,5053 | 0,56 | 0,4685 |
| 0,27 | 0,5100 | 0,57 | 0,4623 |
| 0,28 | 0,5142 | 0,58 | 0,4558 |
| 0,29 | 0,5179 | 0,59 | 0,4491 |
| 0,30 | 0,5211 | 0,60 | 0,4422 |

Приклад аналізу надійності літака Ан-148

Для аналізу надійності літака Ан-148 використовуємо результати річного звіту ЦЕН АТ. Відомості про відмови систем літака Ан-148 наведено в табл. Г1.

Таблиця Г1

Відомості про відмови систем Ан-148-100 В

| Найменування системи | Разом | У польоті | Складові елементи, які відмовили |
|--|------------|-----------|--|
| 021 – Система кондиціонування повітря | 3 | 0 | 7043A010000; ЭВ-02-154 ОАМ |
| 022 – Обладнання автоматичного керування польотом | 3 | 1 | ПУ-56МН; ВЦ-2 |
| 023 – Обладнання зв'язку | 6 | 0 | VHF-400; БВ-38 |
| 024 – Система електропостачання | 4 | 2 | L302006; F11RB4140 |
| 025 – Побутове та аварійно-рятувальне обладнання | 3 | 0 | Підлокітник; кавоварка |
| 026 – Пожежне обладнання | 3 | 0 | СД-7 |
| 027 – Система керування повітряним судном | 11 | 0 | КПМ-148; АРМ-19; УКД; дріт; РД-100-01; РА-110-01 |
| 028 – Паливна система | 7 | 1 | Дріт; провід; БГ-16-2 |
| 029 – Гідролічна система | 1 | 0 | Труба |
| 030 – Система протиоблідувальна | 8 | 4 | УУТС-140М; УУКП-148 |
| 031 – Приладне обладнання | 6 | 0 | ИМ-16 |
| 032 – Шасі | 6 | 4 | ВКП-Д713; іржа шайб кінцевого 32.60-S1; провід |
| 033 – Освітлення та світлова сигналізація | 10 | 0 | ПРА-40; конт. 170363-3; 8ES495338-20 |
| 034 – Пілотажно-навігаційне обладнання | 10 | 3 | ПШКР-СВС; ПУ-56М; Курс-93М; LCR-100 |
| 035 – Кисневе обладнання | 1 | 0 | Пружина |
| 038 – Система водопостачання та видалення відходів | 5 | 1 | Хомут; датчик рівня води; труба; конт. 170363 |
| 046 – Інтеграція систем та засоби відображення | 1 | 0 | БПМВС-05-5 |
| 049 – Бортова допоміжна силова установка | 6 | 0 | БУК МС2; АИ-450-МС |
| 052 – Двері, люки, ступки | 1 | 0 | Тяга двері-трапу |
| 056 – Ліхтар, вікна | 1 | 0 | ТСК 008.01000 |
| 076 – Система керування двигуном | 4 | 1 | Провід 76.00A1x8-8; ЭСУ-436; ИП-СУ148; СВ-36-1А |
| 077 – Прилади контролю двигуна | 1 | 0 | БСКВ-436 |
| 079 – Масляна система | 1 | 1 | ТСС-36 |
| ЗАГАЛОМ | 102 | 18 | |

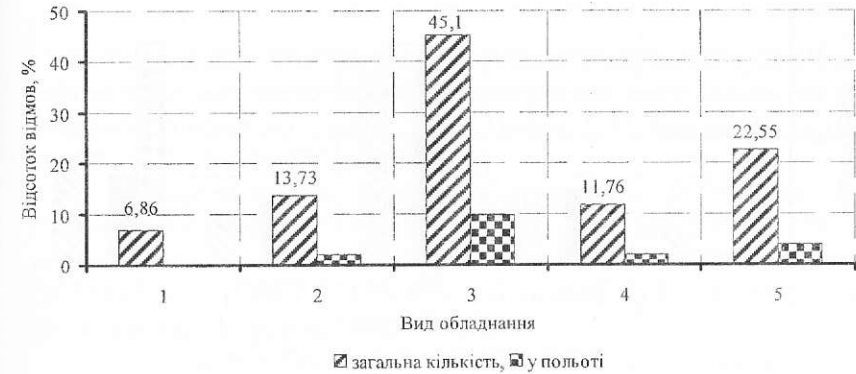


Рис. Г1. Розподіл відмов за видами обладнання Ан-148:
1 — радіоелектронне обладнання; 2 — електрообладнання; 3 — планер та його системи; 4 — двигун та його системи; 5 — приладне обладнання

На рис. Г2 наведено результати напрацювання літака Ан-148.

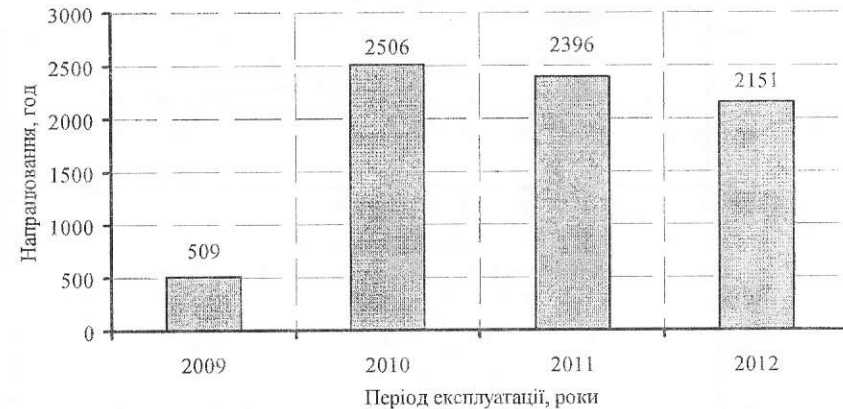


Рис. Г2. Динаміка напрацювання літака

На рис. Г3 показано динаміку зміни відсоткового розподілу відмов за системами за звітний період.

Показники надійності літаків Ан-148 $T_c=21,09$ і $K_{1000h}=8,37$ відповідають контрольним рівням, рекомендованим на 2012 р.

Динаміку зміни T_c для авіадвигунів за 2009–2012 рр. та літаків за 2009–2012 рр. наведено на рис. Г4 і Г5 відповідно.

Закінчення додатка Г

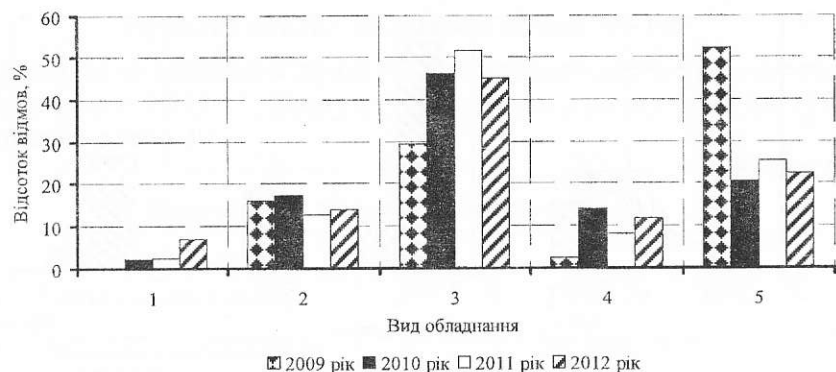


Рис. Г3. Порівняння відсотка відмов за системами Ан-148:
1 — радіоелектронне обладнання; 2 — електрообладнання; 3 — планер та його системи; 4 — двигун та його системи; 5 — приладне обладнання

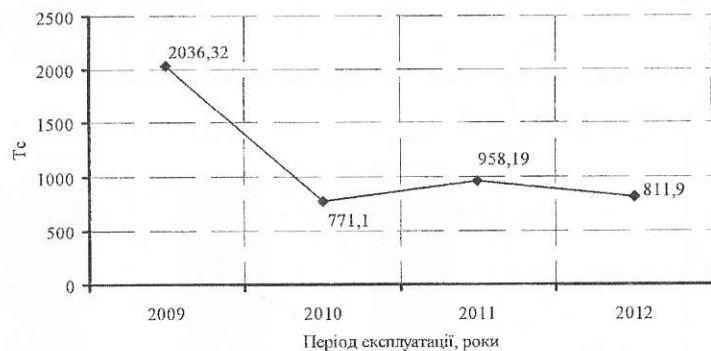


Рис. Г4. Характер зміни T_c двигуна Д-436 за роками



Рис. Г5. Характер зміни T_c літака Ан-148 за роками

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Техническое обслуживание и ремонт воздушных судов и авиационных двигателей: методические рекомендации для выполнения дипломных работ (проектов) / состав.: А. В. Попов, Т. П. Маслак, Н. И. Шпакович. — К. : НАУ, 2014. — 59 с.*
2. *Надійність техніки. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. — [Чинний від 1996.01.01]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 92 с.*
3. *Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення : ДСТУ 3433-96 (ГОСТ 27.005-97). — [Чинний від 01.01.1999]. — К. : Держстандарт України, 1998. — 46 с.*
4. *Бурлаков В. І. Надійність авіаційної техніки : навч. посібник / В. І. Бурлаков, І. М. Новіков, В. В. Порва. — К. : КМУЦА, 2000. — 116 с.*
5. *Косточкин В. В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок / В. В. Косточкин. — М. : Машиностроение, 1988. — 272 с.*
6. *Ицкович А. А. Оптимизация программ технического обслуживания и ремонта машин / А. А. Ицкович. — М. : Знание, 1987. — 124 с.*
7. *Смирнов Н. Н. Техническая эксплуатация летательных аппаратов : учебник для вузов / Н. Н. Смирнов. — М. : Транспорт, 1990. — 423 с.*
8. *Савенков М. В. Автоматизация управления технической эксплуатацией систем / М. В. Савенков. — М. : Транспорт, 1992. — 285 с.*
9. *Шибанов Г. П. Авиационные происшествия, связанные с отказами авиатехники и недостатками ее ТЭ / Г. П. Шибанов // Проблемы безопасности полетов: Реф. сб. // ВИНТИ. — 1994. — С. 37-45.*
10. *Назаренко П. В. Проблемы надежности авиационной техники / В. П. Назаренко, А. А. Комаров, В. И. Бурлаков // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Серия: воздушный транспорт. — Т. 20. — 1990. — С. 204.*
11. *Нормативно-правовые акты [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.easa.europa.eu>.*
12. *Нормативно-правовые акты [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.avia.gov.ua>.*

13. *Библиотека* документів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://easa.europa.eu/official-publication/certification-specifications.php>.

14. *Regulations*. commission regulation (eu) no 748/2012 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:224:0001:0085:EN:PDF>.

15. *Официальная* публікація [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://easa.europa.eu/official-publication/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials.php>.

16. *Списки* мінімального обладнання [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.easa.europa.eu/certification/experts/MMELs-list.php>.

17. *Decision* № 2007/003/c of the executive director of the agency of 16 july 2007. On the acceptance of certification findings made by the federal aviation administration of the united states of america (FAA) for parts designed in the united states of america under the part manufacturer approval (PMA) system of the FAA.

Навчальне видання

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАДВИГУНІВ

Методичні рекомендації
до виконання дипломних робіт (проектів)
для студентів спеціальності 272
«Авіаційний транспорт» спеціалізації
«Технічне обслуговування
та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»

Укладачі:

БУРЛАКОВ Вадим Іванович

ОРЛОВ Олександр Володимирович

ПОПОВ Олександр Вікторович

МАСЛАК Тетяна Петрівна

ШПАКОВИЧ Микола Іванович

ПОПОВ Дмитро Вікторович

Редактор Л. М. Дудченко

Технічний редактор А. І. Лаєринович

Коректор О. О. Крусь

Комп'ютерна верстка Л. Т. Колодіної

НТБ НАУ
219662BR

Уч. В Ц 12.46

Підп. до друку. 07.02.2018. Формат 60×84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 3,02. Обл.-вид. арк. 3,25.
Тираж 100 пр. Замовлення № 15-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002