

І. О. Козлюк, д-р техн. наук, проф.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-4937-2756
e-mail: avia_ira@ukr.net

Ю. Б. Коваленко, докторант
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-6714-4258
e-mail: yleejulee22@gmail.com

МЕТОДИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Вступ

Проблема забезпечення надійності розроблюваних систем управління обладнанням авіаційної техніки, що включає засоби обчислювальної техніки, сучасну радіоелектронну і автоматичну апаратуру, передбачає вирішення таких основних завдань:

1) прогнозування надійності розроблюваних функціональних систем (ФС) повітряних суден (ПС) на всіх етапах проектування з виявленням слабких місць і видачею своєчасних рекомендацій щодо забезпечення надійності;

2) контроль досягнутого рівня надійності на кінцевих етапах розробки на підставі результатів випробувань ПС;

3) оптимізація надійності розроблюваних ПС, програмними і апаратно-програмними засобами.

Підвищення точності апріорних оцінок проектованої надійності сприяє підвищенню якості, продуктивності та конкурентоспроможності розроблюваних ПС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існуючі інженерні аналітичні методи розрахунку показників надійності ПС зазвичай засновані на використанні однопараметричного експоненціального розподілу напрацювання елементів до відмови. При цьому передбачається, що протягом терміну експлуатації елементи не піддаються старінню і зносу, а при черговій відмові елементів ПС повністю відновлюється через надійність. Таке грубе моделювання надійності елементів ПС призводить до великих методичних похибок оцінок шуканих показників надійності ПС [7]. На сьогодні практично всі вирішення різноманітних складних завдань надійності отримані на підставі використання експоненціального закону, тобто на основі використання статистичної моделі надійності. Статистичний підхід до дослідження надійності ряду ПС стає практично неможливим через відсут-

ність статистики відмов через високу надійність ПС або наявності одиничних прикладів. Крім того, відсутність зв'язку показників надійності з фізичними характеристиками ПС і зовнішніми умовами експлуатації не дає можливості ефективно управляти проектуванням і забезпеченням необхідного рівня надійності ПС, що розробляються та експлуатуються [2]. Інший шлях встановлення кількісних показників надійності, на відміну від строго ймовірнісного підходу, заснований на вивченні механо-фізико-хімічних властивостей і деяких фізичних параметрів ПС, які характеризують технічний стан останніх. А саме, встановлення кількісних показників надійності засноване на визначенні аналітичного зв'язку показників надійності з закономірностями зносу, зокрема зі швидкістю протікання фізико-хімічних процесів. У цьому випадку найбільш ефективним і загальним є підхід, заснований на використанні в якості моделей зносу випадкових процесів та стохастично кінетичних рівнянь, що призводить до законів розподілу відмов. Даний підхід називається ймовірнісно-фізичним, оскільки він безпосередньо встановлює зв'язок імовірності відмови і фізичного параметра, що викликає відмову. Внаслідок цього параметри одержуваного ймовірнісного розподілу відмов мають певний фізичний сенс. Розподіл відмов (розподіл наробітку до відмови), параметри якого мають конкретну фізичну інтерпретацію, прийнято називати ймовірнісно-фізичним розподіленням відмов. Під визначальними параметрами в цьому випадку мають на увазі такі початкові фізичні параметри: скупчення дислокацій та інших дефектів, пластичні і пружні деформації, механічний знос, провідність контактуючих, суцільних провідників струму та n - p переходів та ін., перевищення якими певних граничних значень призводить до відмови.

Мета статті. Необхідно перевірити та підтвердити, що в сучасних умовах суворого дефі-

циту часу і незначної статистики відмов тільки ймовірно-фізичний підхід, який додатково використовує інформацію про фізичний знос ПС, здатний ефективно вирішувати необхідні для інженерної практики завдання надійності, в тому числі розрахункові завдання надійності обладнання ПС. У цій статті представлені сучасні методи вирішення основних завдань надійності на основі ймовірно-фізичної теорії надійності.

Виклад основного матеріалу

Ймовірно-фізичні моделі мають більшу перевагу перед суворо ймовірнісними моделями надійності в тому, що їх параметри можуть бути оцінені на підставі, як статистики відмов, так і аналізу фізичного зносу. Для багатьох ПС завдання оцінки надійності можна вирішити в результаті вимірювання деяких визначальних параметрів в процесі випробувань, які не доводять ПС до стадії руйнування.

Відмови елементів ПС викликають значні втрати коштів, сил і часу через руйнування обладнання ПС, необхідність проведення відновлювальних робіт і пов'язаних з ними простоїв ПС, шкоди від невиконання певних завдань.

Крім того, недостатня надійність ПС негативно впливає на безпеку їх експлуатації [9].

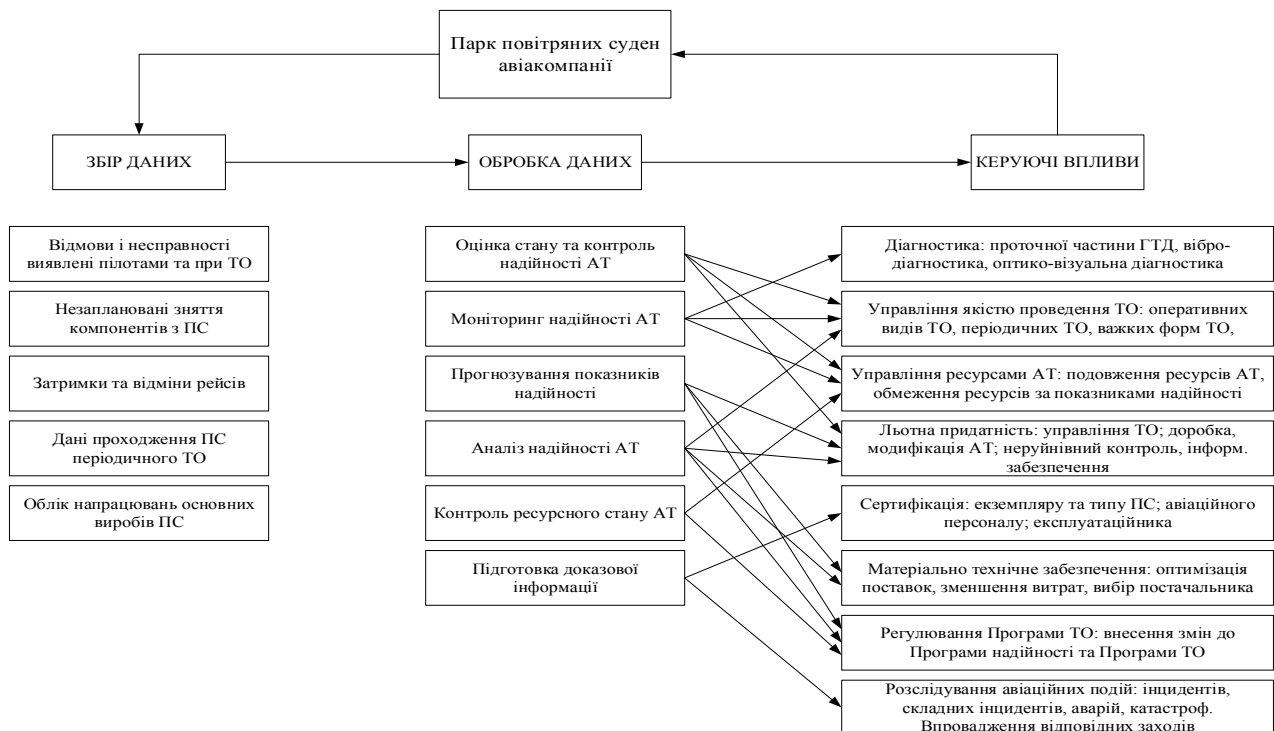
Зазначимо, в авіакомпанії основними заходами, спрямованими на збільшення прибутку, є

оптимізація процесів технічного обслуговування та матеріально-технічного забезпечення, своєчасна сертифікація екземплярів, типів ПС, персоналу і експлуатаційника та забезпечення льотної придатності парку ПС.

Усі ці заходи засновані на даних з надійності. Важливим питанням є правильна організація системи збору інформації з надійності, причому необхідно зазначити, що авіакомпанія експлуатує авіаційну техніку і за станом, і за ресурсами. Тобто потрібно враховувати дані по відмовам, наробіткам та ресурсам компонентів авіаційної техніки (АТ).

Для управління надійністю ПС в авіакомпанії розроблено загальний контур управління експлуатацією ПС показано на рисунку, основними складовими якого є збір, обробка даних та керуючі впливи.

На основі даних про відмови і несправності, виявлені екіпажем у польоті та наземними службами при ТО, незаплановані зняття компонентів з ПС, затримки та відміни рейсів, даних проходження ПС періодичного ТО, обліку напрацювань основних виробів ПС проводиться оцінка стану та контроль надійності компонентів АТ, моніторинг, прогнозування показників надійності, контроль і аналіз ресурсного стану АТ та підготовка доказової інформації [6; 8].



Загальний контур управління надійністю ПС в авіакомпанії

Результати обробки даних використовуються для інформаційної підтримки процесів регулю-

вання Програм надійності і технічного обслуговування ПС, діагностування, управління якістю

проведення ТО, управління ресурсами АТ, забезпечення льотної придатності, сертифікації, матеріально-технічного забезпечення та розслідування авіаційних подій.

При зміні стану надійності проводиться управління процесом введення нових процедур з діагностики та контролю АТ для раннього виявлення та попередження відмов. На основі отриманих даних з надійності проводиться планування та зміна періодичності оглядів та проведення ТО з ціллю раннього попередження відмов.

На основі результатів з обробки даних про надійність проводиться управління якістю ТО. Аналізуються якість робіт виконаних окремими працівниками, бригадами, змінами та цехами, які проводять оперативне, періодичне ТО та важкі форми ТО. Спираючись на аналіз, вводяться штрафні або заохочувальні санкції, проводиться збір доказової інформації про рівень кваліфікації персоналу для його сертифікації.

Під час управління ресурсами, залежно від значення розрахованих показників надійності та його впливу на безпеку польотів, компоненти авіаційної техніки переводяться на відповідні методи технічного обслуговування за станом або за ресурсом.

Для обслуговування за ресурсом важливими питаннями управління є подовження або обмеження ресурсів компонентів АТ.

Досягнутий рівень надійності та безпеки польотів визначає стан забезпечення льотної придатності авіаційної техніки. Тому процеси управління надійністю направлені на підвищення та забезпечення льотної придатності ПС.

Проведення сертифікації експлуатанта, екземпляру та типу ПС, авіаційного персоналу, багато в чому засновано на даних про надійність АТ. На основі цієї інформації в авіакомпаніях готуються необхідні звіти та доказова інформація на основі якої визначається стан льотної придатності кожного екземпляру та парку типів ПС авіакомпанії, рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу [2; 4].

Процес управління матеріально-технічним забезпеченням авіакомпанії, що базується на даних про відмови, наробітки та ресурси комплектуючих виробів ПС та наявності запасних частин і витратних матеріалів на складах та пунктах комплектуваннях, включає вирішення задач оптимізації поставок запасних частин, вибору постачальників, у яких умови закупки та якість компонентів АТ кращі.

Якщо при розслідуванні авіаційних подій, інцидент стався з технічної причини, проводиться ряд заходів, складаються бюлетені, направлені на підвищення надійності типу ПС [7].

Регулювання Програми ТО та програми надійності проводиться шляхом внесення необхідних змін до програми технічного обслуговування, поопераційних відомостей. Ці зміни направлені на підвищення рівня надійності та зменшення витрат на технічне обслуговування АТ, забезпечення заданого рівня льотної придатності та безпеки польотів. Отже, в основу автоматизованої системи для визначення стану надійності парку ПС авіакомпанії покладені такі показники безвідмовності:

- середній наробіток на відмову

$$T = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{n}$$

де N — загальне число компонентів ПС (двигунів, систем, комплектуючих виробів); t_i — наробіток i -го компонента ПС за розглянутий календарний період; n — число відмов компонентів ПС за цей період;

- середнє значення параметра потоку відмов

$$\omega_{k,r,v,j} = \frac{\sum_{j=1}^l \Delta n_{k,r,j}}{\sum_{j=1}^l t_{\text{сум},k,r,j}}$$

де $\Delta n_{k,r,j}$ — кількість відмов r -го виду елемента k -го типу в j -му інтервалі наробітку; $t_{\text{сум},k,r,j}$ — сумарний наробіток v -го виду елемента k -го типу за j -й контрольний період; l — число інтервалів наробітку;

– імовірність справної роботи елементів за умови, що значення наробіток між відмовами і несправностями розподіляється за експонентним законом:

$$P_{k,r,j} = \exp(-\omega_{k,r,j} t),$$

де t — задана величина наробітку.

Тобто оцінка якості проведення ТО обслуговуючим персоналом визначається за такими показниками:

- початкові оцінки якості:

$$H_{K_n} = \frac{N_1}{N} 100\% = \frac{N-T}{N} 100\% = \left(1 - \frac{T}{N}\right) 100\%,$$

де N — кількість пред'явлених робіт; N_1 — кількість прийнятих з першого пред'явлення робіт; T — кількість оформлених талонів другого пред'явлення;

- узагальнені показники якості:

$$R_{K_s} = H_{K_s} K_{CH} K_W K_{\Gamma},$$

де

$$K_{CH} = 1_1^{n_1} 1_2^{n_2} \dots 1_z^{n_z} = \prod_z 1_1^{n_1},$$

$$K_W = \frac{a_{\Phi}}{a_0}, K_{\Gamma} = \frac{W_{\Phi}}{W_0}.$$

де 1_i^n — коефіцієнти перерахунку початкової оцінки якості; z — кількість перерахувань; a_ϕ і a_0 — фактичний виробіток і встановлений норматив на даний період на одного виконавця; W_ϕ і W_0 — фактичний і запланований об'єми робіт з технічного обслуговування для ділянки зміни; K_r — коефіцієнт гарантії; s — індекс того виду продукції, для якого визначалися всі розглянуті величини; $s = 1, 2, \dots, S$;

– індекси якості:

$$I_R = \frac{W_1 \frac{R_{K_1}}{R_{K_1^0}} + W_2 \frac{R_{K_2}}{R_{K_2^0}} + W_S \frac{R_{K_S}}{R_{K_S^0}}}{W_1 + W_2 + \dots + W_S} = \frac{\sum_{s=1}^S W_s \frac{R_{K_s}}{R_{K_s^0}}}{\sum_{s=1}^S W_s},$$

де W_s — об'єм продукції s -го виду, тобто об'єм технічного обслуговування по ділянці, цеху; $s = 1, 2, \dots, S$, $R_{K_s^0}$ — базові значення узагальнених показників якості технічного обслуговування;

– загальний рівень якості:

$$R_{3AT} = \frac{W_1 R_{K_1} + W_2 R_{K_2} + W_S R_{K_S}}{W_1 + W_2 + \dots + W_S} = \frac{\sum_{s=1}^S W_s R_{K_s}}{\sum_{s=1}^S W_s}.$$

Зазначимо, що при постійному значенні потоку відмов відновлювальних елементів АТ, використовується метод контролю та прогнозування надійності на основі розподілу Пуассона. Спочатку в методі визначається середнє значення параметра потоку відмов

$$\overline{\omega}_{oye} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (\omega_{oye})_j,$$

де $(\omega_{oye})_j$ — параметр потоку відмов елемента за j -й період експлуатації (місяць, квартал, рік), що передує контрольованому, з номером k .

Допустимо число відмов елемента $n_{доп k}$ за контрольований період знаходиться з рішення рівняння $P(n_{доп k}, \overline{\omega}_{oye}, t_{сум k}) = P_{доп}$, яке при Пуассонівському потоці відмов, має вигляд:

$$P_{доп} = \sum_{n=0}^{n_{доп k}} \frac{(\overline{\omega}_{oye} t_{сум k})^n}{n!} \exp(-\overline{\omega}_{oye} t_{сум k}),$$

де $P(\cdot)$ — закон розподілу ймовірності безвідмовної роботи; $t_{сум k} = m \sum t_i k$ (при $i = \overline{1, m}$) — сумарний наробіток елемента за контрольований період; t_{ik} — наробіток i -го елемента за контрольований період; m — кількість однотипних елементів на ПС; $P_{доп}$ — припустима ймовірність безвідмовної роботи елемента, що зазвичай

приймається рівною $P_{доп} = 0,975, 0,9$, або $0,75$. Значення $0,75$ ймовірності безвідмовної роботи елемента визначено як оптимальне, якщо час поставки (закупки) елемента незначний.

Якщо фактичне число відмов $n_{фк}$ за контрольований період перевищує отриману з рішення рівняння величину $n_{доп k}$, тобто

$$n_{фк} > n_{доп k},$$

то необхідно розробити заходи по підвищенню рівня надійності АТ.

Припустимо число відмов елемента $n_{доп in}$ за прогнозований період експлуатації визначається шляхом рішення рівняння типу відносно n :

$$P_{доп} = \sum_{n=0}^{n_{доп+пр}} \frac{(\overline{\omega}_{oye} t_{сум пр})^n}{n!} \exp(-\overline{\omega}_{oye} t_{сум пр}),$$

де $t_{сум пр}$ — передбачуваний сумарний наробіток елемента за період прогнозу, що приблизно можна оцінити за допомогою співвідношення

$$t_{сум пр} \approx t_{сум k} \left(1 + \frac{N_H - N_C}{N} \right).$$

Тут N_H — число ОВ, що надходять в експлуатацію в прогнозований період; N_C — кількість ОВ, що підлягають списанню в той же період.

За необхідності забезпечення експлуатації відновлювальних виробів на заданому інтервалі $[0, t_k]$, якщо інтервал експлуатації виробу є досить великим порівняно з середнім часом між відмовами, приймається розподіл відмов по закону, близькому до нормального. При цьому число відмов визначається як

$$m(t) = \frac{t}{T} + u_\alpha \frac{\sigma \sqrt{t}}{T^{3/2}},$$

де $m(t)$ — прогнозована кількість елементів, $u_{1-\alpha}$ — квантиль нормального розподілу для ймовірності, рівної $(1 - \alpha)$; T — середній час між відмовами; σ^2 — дисперсія часу між відмовами, t — поточний наробіток.

Для прийняття правильних рішень з управління експлуатацією ПС необхідно оперувати достовірною інформацією з надійності авіаційної техніки [3; 4; 5]. Для цього була розроблена автоматизована система, на основі якої реалізується блок обробки даних загального контуру управління надійністю парку ПС.

До автоматизованої системи вводяться дані з надійності, які беруться з журналів пілотів, цехів оперативного і періодичного ТО, планово-диспет-

черського відділу — загальна інформація про літак, у якому виявлено несправності, опис відмов та вжитих заходів для їх усунення, дані по знятих та встановлених агрегатах, постачальникам цих агрегатів, облік напрацювань агрегатів, інформація по затримкам, відмінам рейсів, інцидентах, відкладеному ТО та ін. На основі цих даних визначаються фактичні показники надійності та проводиться:

- контроль рівня надійності парку типів ПС авіакомпанії;
- моніторинг показників надійності ПС авіакомпанії;
- визначення загальної статистики відмов, затримок рейсів, інцидентів, повторних дефектів, відкладеного ТО парку ПС авіакомпанії;
- визначення загальної статистики замінив двигунів ПС авіакомпанії з різних причин;
- визначення стану надійності комплектуючих виробів, систем і основних виробів ПС авіакомпанії;
- прогнозування запасу комплектуючих виробів ПС авіакомпанії;
- аналіз якості виконання важких форм ТО;
- контроль за проведенням випробувань допоміжної силової установки (ДСУ) при висотному старті та системи автоматичної посадки.

На основі загальних статистичних даних з надійності, проводиться моніторинг відмов в польоті та на землі, затримок рейсів, інцидентів, повторних дефектів, відкладеного ТО парку ПС авіакомпанії за обраний період експлуатації. Для кожного типу та екземпляру ПС також проводиться моніторинг напрацювання в годинах, польотних циклах, середньої тривалості польоту та добового нальоту.

Визначаються загальні статистичні дані по запланованим та незапланованим зняттям двигунів з ПС та вимкненням двигунів в повітрі.

Прогнозування надійності проводиться для матеріально-технічного забезпечення авіакомпанії необхідними запасними частинами, оптимізації процесу поставок, зменшення витрат та вибору того постачальника, у якого якість товару та умови закупки кращі. Аналіз якості виконання важких форм ТО проводиться шляхом оцінки стану надійності АТ за 40-денний період експлуатації після ремонту та його порівняння з середніми показниками за попередній рік.

На основі отриманих даних вводяться штрафні або заохочувальні санкції бригадам та цехам, або підрядним організаціям, що проводили ремонт.

Дослідження відмов ПС, наприклад, на основі експоненціального розподілу, є однопараметрична функція, яка широко використовувалася

по теперішній час в теорії надійності завдяки простоті моделі. Однак необхідно критично підходити до застосування цієї моделі, оскільки однопараметричність моделі накладає на неї ряд істотних обмежень, робить її грубо наближеною і призводить до дуже великих похибок, як при розрахунку надійності, так і при експериментальній оцінці.

Звідси, всі відомі методи показників надійності, засновані на використанні строго ймовірнісних моделей розподілу відмов (експоненціального, Вейбулла та ін.), допускається тільки два можливих стану елементів системи — справний і несправний, імовірності поєднання яких визначає також двопозиційний стан системи в цілому — працездатний або непрацездатний.

Метод розрахунку, заснований на використанні ймовірнісно-фізичної моделі, відрізняється від строго ймовірнісних методів тим, що він розглядає безперервну множину станів елементів і системи з безперервним часом і називається *ймовірнісно-фізичним методом*.

За результатами дослідження певних параметрів, що характеризують технічний стан ПС, можна відшукати параметр, який інформує про витрачання ресурсу ПС, і, оцінивши швидкість його зміни і знаючи його граничне значення, можна прогнозувати всі необхідні кількісні показники надійності ПС.

Основним завданням теорії надійності є розробка кількісних методів оцінки надійності та визначення найбільш раціональних методів забезпечення необхідного рівня надійності ПС, які створюються і вводяться в експлуатацію. Застосування кількісних методів дослідження надійності забезпечує:

- наукове обґрунтування вимог до новостворюваних зразків ПС;
- проектування обладнання ПС з необхідним рівнем надійності;
- планування обсягів, термінів і способів відпрацювання ПС для досягнення заданого рівня надійності;
- обґрунтування шляхів зниження економічних витрат і скорочення часу на розробку ПС;
- вибір і обґрунтування найбільш ефективних заходів забезпечення надійності на етапах проектування, конструкторського відпрацювання, виготовлення і експлуатації ПС;
- об'єктивну оцінку технічного стану ПС, які знаходяться в експлуатації;
- розробку науково обґрунтованих рекомендацій, спрямованих на поліпшення авіаційної техніки і методів її експлуатації.

Через складність фізичних процесів, що призводять до відмови, і неможливості врахувати всі

початкові умови, а також випадковий вплив навантажень в процесі експлуатації, в даний час загальноприйнято вважати появу відмови випадковою подією в тому сенсі, що задана структура авіаційного обладнання та умови його експлуатації не визначають точно моменти і місце виникнення відмов. Прийняття цієї концепції зумовлює математичний апарат, який повинен бути використаний для визначення показників надійності і побудови на їх основі теорії надійності. Як відомо, кількісною характеристикою випадкової події є її ймовірність, яка приблизно дорівнює частоті появи події в достатньо довгій послідовності спостережень за незмінних умов.

Теоретичне дослідження надійності та практичні оцінки показників надійності ПС можна віднести до двох етапів, які відрізняються один від одного і постановками задач, і вихідними даними, і використовуваними математичними апаратами [11; 12; 13].

Перший етап дослідження надійності називають *ап'юріорним аналізом надійності*. Існують ще кілька визначень цього етапу оцінки надійності: аналітичні методи розрахунку надійності ПС, що розробляються, проектна оцінка надійності. Ап'юріорний аналіз надійності проводиться на стадії проектування системи, коли конструкторами намічено кілька конкуруючих структурних схем ПС. Цей аналіз передбачає ап'юріорі повністю відомими кількісні характеристики надійності всіх використовуваних елементів ПС. Насправді ж на стадії проектування зазначені ап'юріорні дані конструктор має лише для тих типів елементів ПС, які тривалий час перебували в експлуатації. Для нових елементів ПС немає достовірних кількісних характеристик надійності, і їх можна задавати за аналогією з показниками надійності елементів ПС, що застосовуються або по інтуїції.

Таким чином, ап'юріорний аналіз базується на ап'юріорних (імовірнісних) характеристиках надійності, які лише приблизно і неповно відображають дійсні процеси в ПС. Проте, для порівняння показників надійності декількох структурних схем ПС використання ап'юріорного аналізу може бути дуже корисним. Цей аналіз дозволить виявити на стадії проектування слабкі з точки зору надійності місця в конструкції і вжити необхідні заходи до їх усунення, а також відкинути незадовільні варіанти побудови ПС.

Саме в даному сенсі ап'юріорний аналіз надійності, не претендуючи на видачу достовірних кількісних характеристик, має істотне значення в практиці проектування, і тому становить невід'ємну частину технічних проектів ПС.

Оскільки ап'юріорний аналіз передбачає цілком визначеними ймовірнісні характеристики надій-

ності, то для його здійснення використовують методи теорії ймовірності та теорії випадкових процесів.

Другий етап дослідження і оцінки показників надійності вже розроблених і виготовлених ПС називають *апостеріорним аналізом надійності* (експериментальна оцінка). Його проводять на підставі статистичної обробки експериментальних даних про працездатність і відновлюваність ПС, отриманих в процесі її налагодження, випробувань і експлуатації. Метою випробувань на надійність і збору експлуатаційних даних про надійність є оцінка досягнутого рівня надійності ПС.

У даному випадку завдання апостеріорного аналізу полягає, перш за все, в оцінці невідомих параметрів за результатами спостережень і в подальшому розрахунку за допомогою цих оцінок показників надійності.

Визначальні випробування ПС на надійність проводять для визначення фактичних показників надійності ПС із заданою точністю і достовірністю.

При плануванні визначальних випробувань ПС для кожного показника, який визначається, повинні бути вказані:

- очікуване значення показника надійності повітряних суден — A_0 ;
- очікуване значення коефіцієнта варіації напруження до відмови v_0 ;
- достовірність (довірча ймовірність q) і точність (відносна помилка δ) оцінки показника надійності повітряних суден;
- тип плану випробувань (з відновленням, заміною або без заміни, певною тривалістю або до певного числа відмов повітряних суден).

Вибір довірчої ймовірності q (двосторонньої), а також відносної помилки δ оцінки показників надійності ПС здійснюють за погодженням із замовником відповідно до вимог стандартів (загальнотехнічних і галузевих).

За результатами визначальних випробувань на надійність за кожним показником надійності обчислюють точкову оцінку A , нижню \underline{A} і верхню \overline{A} довірчі кордони, відповідні заданій довірчій ймовірності. Зв'язок між односторонньою p і двосторонньою q довірчими ймовірностями така:

$$\beta = \frac{1+q}{2}.$$

План випробувань на надійність ПС встановлює число випробувань, порядок проведення випробувань (з відновленням працездатного стану ПС після відмови, заміною ПС, що відмовило або без заміни і відновлення) і критерій їх припинення.

Випробуванням піддаються однотипні ПС, що не мають конструктивних або інших відмінностей, виготовлені за єдиною технологією і випробувані в ідентичних умовах. Тривалість або обсяг роботи (напрацювання) ПС залежно від їх типу і умов експлуатації може вимірюватися в годинах або циклах.

Реалізація запропонованої методології з оцінки рівня надійності здійснювалася на підприємстві на п'яти виробках одного типу.

Проведено оцінку рівня надійності комплексуючих виробів (КВ) повітряних суден за результатами їх експлуатації із застосуванням методів експлуатації за технічним станом. Оцінка проводилася за даними, представленим користувачами ПС за певний період експлуатації.

Оцінка кожного чергового етапу формувалася шляхом обробки повного обсягу даних з початку експлуатації парку ПС. Повний обсяг даних для обробки формувалася на основі наявного обсягу даних попереднього етапу, доповненого і відкоригованого за даними, отриманими на оцінюючому етапі. При цьому, за рахунок збільшення обсягу статистичних даних, на кожному новому етапі обробки, вироблялося уточнення як складу даних, так і оцінок значень даних, оцінок параметрів, отриманих на попередньому етапі. При зростанні напрацювання КВ, також проводилася оцінка параметрів з напрацювання КВ.

Для проведення робіт формувалася база вихідних даних про хід експлуатації повітряних суден і КВ, його функціональних систем для всього парку ПС, які в міру надходження нових даних доповнювалися і відповідним чином коригувалися. Зміст бази даних проходив процедуру обов'язкової періодичної звірки з даними відповідного користувача. За результатами звірки проводилося необхідне коригування змісту бази даних, на основі якої в подальшому проводилася оцінка рівня надійності і необхідний аналіз.

Для побудови оцінки рівня надійності використовувався такий склад вихідних даних:

– по повітряним суднам — напрацювання по кожному польоту (дата, тривалість) кожного ПС за весь період експлуатації;

– щодо комплектуючих виробів:

1) належності кожного КВ повітряному судну;

2) на якому ПС встановлено;

3) дата установки, дата демонтажу;

4) напрацювання за час кожної чергової установки;

5) дата відмови;

6) напрацювання КВ — сумарне при кожному демонтажі,

7) напрацювання КВ на момент оцінки: сумарне, після чергової установки,

8) визначався склад КВ, що експлуатувалися на повітряному судні,

9) для кожного КВ визначалися дані по пп. 1–7.

Оцінка проводилася із застосуванням контролю рівня надійності кожного КВ. При цьому розглядалися умови виникнення деяких ситуацій польоту ПС, в тому числі: особлива ситуація (ОС); катастрофічна ситуація (КС); аварійна ситуація (АС); складна ситуація (СС); ускладнення умов польоту (УУП).

Особлива ситуація — аварійна подія, що характеризує як «ускладнення умов польоту», «складну ситуацію», «аварійну ситуацію», «катастрофічну ситуацію», виникнення якої, пов'язане з можливістю впливу несприятливих факторів, або їх поєднання на будь-якому з етапів польоту, що приводить до зниження безпеки польоту.

Катастрофічна ситуація — особлива ситуація, при виникненні якої, запобігання загибелі людей або втрати ПС виявляється практично неможливим.

Аварійна ситуація — особлива ситуація, що характеризується значним підвищенням психофізіологічних навантажень на екіпаж, погіршення льотних характеристик, стійкості, керованості, яка веде до досягнення (підвищення) граничних обмежень і розрахункових умов польоту.

Складна ситуація — особлива ситуація, що характеризується помітним підвищенням психофізіологічних навантажень на екіпаж або погіршенням льотних характеристик, стійкості, керованості льотних характеристик, або виходом одного або декількох параметрів польоту за експлуатаційні обмеження, але без досягнення граничних обмежень і розрахункових умов польоту.

Ускладнення умов польоту — особлива ситуація, що характеризується незначним збільшенням психофізіологічних навантажень на екіпаж або незначне погіршення характеристик стійкості, керованості або льотних характеристик.

Розрахунок виконувався інтервальний — для кожних 1000 год нальоту парку. Завданням контролю було — перевірити, чи є зростання за інтенсивністю відмов і, якщо є — визначити на якому напрацюванні блоку відбувається таке зростання. При цьому виявлялися випадки збільшення інтенсивності в два і більше разів. Вид контролю рівня надійності, встановлений при сертифікації з результатами оцінки для кожного КВ.

Висновки

Проведено обробку даних про надійність КВ повітряних суден за певний період експлуатації. Початкова обробка даних первинний етап оцінки була виконана для початкового і подальшого періоду експлуатації. Обробка чергового етапу

проводилася шляхом додавання до обсягу даних попереднього етапу нових даних, отриманих на етапі, який оцінюється коригуванням змісту бази даних попереднього періоду (за необхідності), і повторного розрахунку нових значень параметра $\omega_{\text{ср}}$.

Розрахунок значень параметра $\omega_{\text{ср}}$ (потік відмов) проводився для кожного КВ, яке експлуатується за методом «відмов», за умови, що статистичних даних досить для виконання розрахунку (зафіксовано три і більше відмови).

Для оцінки наявності змін $\omega_{\text{ср}}$ в міру зростання напрацювання КВ, виконувався розрахунок для не менше ніж двох інтервалів напрацювання КВ.

Проводився порівняльний аналіз результатів оцінки $\omega_{\text{ср}}$:

- для порівняльної оцінки рівня надійності, отриманого за результатами експлуатації (значення $\omega_{\text{ср}}$ на періоді, що оцінюється) і значення контрольного рівня;

- для порівняльної оцінки $\omega_{\text{ср}}$ на попередньому етапі та етапі, що оцінюється;

- для порівняльної оцінки $\omega_{\text{ср}}$ по інтервалах напрацювання КВ.

За результатами аналізу результатів обробки встановлено:

- значення $\omega_{\text{ср}}$ на етапі, що оцінюється, не перевищують встановлених значень для контрольного рівня надійності,

- істотного зростання $\omega_{\text{ср}}$ в міру збільшення напрацювання КВ не виявлено;

- істотного зростання значення $\omega_{\text{ср}}$ при напрацюваннях, які перевищують установлені значення ресурсу до першого ремонту або призначеного не виявлено.

Таким чином, даних, що потребують зміни складу (переліку) КВ, що експлуатуються за методом «відмов», не виявлено.

Перспективи подальших досліджень

Отримання кількісних показників по ресурсу і надійності КВ дозволяє порівняно просто прогнозувати очікуване залишкове напрацювання (ресурс, термін експлуатації) на будь-який момент експлуатації як на стадії проектування, коли використовується та сама інформація, що і для прогнозування початкового напрацювання (ресурсу, терміну експлуатації), так і на стадії

випробувань і експлуатації, коли є можливість уточнення початкових оцінок шляхом використання додаткової інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Воробьев В.** Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования: учебник / В. Воробьев, В. Константинов. — М. : МГТУ ГА, 2010. — 440 с.

2. **Бургаев Ю., Острейковский В.** Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации. — М. : Энергоатомиздат, 1995. — 240 с.

3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. — К. : Держстандарт України, 1995. — 91 с.

4. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. — К. : Держстандарт України, 1995. — 32 с.

5. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. — К. : Держстандарт України, 1995. — 39 с.

6. **Дзиркал Э.** Задание и проверка требований к надежности сложных изделий / Э. Дзиркал. — М. : Радио и связь, 1981. — 176 с.

7. **Diciccio T., Efron B.** Bootstrap Confidence Intervals, *Statistical Science*. — Vol. 11, №. 3, 1996. — P. 189–228.

8. **Креденцер Б. П.** Прогнозирование надежности систем с временной избыточностью / Б. П. Креденцер. — К. : Наук. думка, 1978. — 240 с.

9. **Кучер О.** Контроль та аналіз стану надійності систем і агрегатів повітряних суден в експлуатації / О. Кучер, П. Власенко // Наукоємні технології. — К. : НАУ, №1(15), 2010. — С. 15–26.

10. **Міляев Ю.** Основы надійності технічних систем: навч. посібник / Ю. Міляев, О. Нечипоренко. — К. : Видавн.-полігр. центр Акад. муніцип. управління, 2008. — 246 с.

11. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. [Чинний від 1995-01-25]. — К. : Держспроживстандарт України, 1995. — 51 с.

12. **Топольский М.** Методы максимального использования эксплуатационной информации о надежности / М. Топольский // Вопросы экспериментальной оценки показателей надежности. — М. : Знание, 1979. — С. 56–88.

13. **Скрипник В.** Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам / В. Скрипник, А. Назин, Ю. Приходько, Ю. Благовещенский. — М. : Радио и связь, 1988. — 184 с.

Козлюк І. О. Коваленко Ю. Б.

МЕТОДИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

У статті пропонуються методи визначення характеристик показників надійності функціональних систем авіаційної техніки, засновані на використанні експоненціального розподілу ймовірно-фізичної моделі відмов. Дана оцінка методу, визначає довірчу ймовірність і точність оцінки показника надійності функціональних систем. Оцінка рівня надійності та його аналіз представлений за результатами випробувань і технічної діагностики авіаційної техніки. Також проведено обробку даних про надійність комплектуючих виробів повітряних суден за певний період експлуатації. Початкова обробка даних первинний етап оцінки була виконана для початкового і подальшого періоду експлуатації. Обробка чергового етапу проводилася шляхом додавання до обсягу даних попереднього етапу нових даних, отриманих на етапі, який оцінюється коригуванням змісту бази даних попереднього періоду, і повторного розрахунку нових значень.

Ключові слова: ймовірно-фізичний розподіл відмов; апіорний і апостеріорний аналіз; механо-фізико-хімічні параметри; експоненціальний розподіл; визначальні випробування; математична статистика; експериментальна оцінка.

Kozlyuk I. O. Kovalenko Y. B.

METHODS OF PRODUCTS RELIABILITY EVALUATION BASED ON THE RESULTS OF TESTS AND OPERATION

The article proposes methods for determining the characteristics of reliability indicators of functional systems of aviation equipment, based on the use of the exponential distribution, the probability-physical model of failures. This evaluation of the method determines the confidence probability and the accuracy of the evaluation of the reliability index of functional systems. The assessment of the level of reliability and its analysis are presented based on the results of tests and diagnostics of aviation equipment. Also, the data processing reliability components of aircraft for a certain period of operation. The initial data processing, the initial stage of evaluation, was performed for the initial and subsequent period of operation. The processing of the next stage was carried out by adding to the data volume of the preliminary stage new data obtained at the stage estimated by adjusting the content of the previous period database and recalculating the new value.

Keywords: statistically physical distribution of failures; a priori and a posteriori analysis; mechanical- physical-chemical parameters; exponential distribution; determinative tests; mathematical statistics; experimental evaluation.

Козлюк И. О. Коваленко Ю. Б.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

В статье предлагаются методы определения характеристик показателей надежности функциональных систем авиационной техники, основанные на использовании экспоненциального распределения, вероятностно-физической модели отказов. Данная оценка метода, определяет доверительную вероятность и точность оценки показателя надежности функциональных систем. Оценка уровня надежности и его анализ представлен по результатам испытаний и диагностики авиационной техники. Также проведена обработка данных надежности комплектующих изделий воздушных судов за определенный период эксплуатации. Начальная обработка данных первичный этап оценки, была выполнена для начального и последующего периода эксплуатации. Обработка очередного этапа проводилась путем добавления к объему данных предварительного этапа новых данных, полученных на этапе, который оценивается корректировкой содержания базы данных предыдущего периода, и повторного расчета новых значений.

Ключевые слова: вероятностно-физическое распределение отказов; апіорний и апостеріорний аналіз; механо-фізико-хімічні параметри; експоненціальне розподілення; визначаючі випробування; математична статистика; експериментальна оцінка.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2018 р.

Прийнято до друку 17.09.2018 р.

Рецензент – д-р техн. наук, проф. Конахович Г. Ф.