

С. В. Гаєвський¹, С. М. Балакірева², Д. В. Комаров³, В. О. Явтушенко²

¹ Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

³ Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця, Україна

АНАЛІЗ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКА ЯК ОБ'ЄКТА ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Анотація. Предметом вивчення в статті є процеси функціонування радіоелектронної системи сучасного літака, її комплектуючих елементів та функціональних вузлів як об'єкта експлуатації і визначення залишкового ресурсу. **Метою** є проведення аналізу існуючого методичного апарату, що застосовується для розрахунку показників довговічності та можливості продовження призначених термінів служби радіоелектронної системи літака. **Завдання:** проаналізувати суперечності в практиці оцінки залишкового ресурсу радіоелектронної системи літака; провести аналіз науково-методичного апарату, що застосовується для його оцінки. Аналізованими **методами** є: параметричні методи та імовірнісні методи оцінки безвідмовності роботи. Отримані такі **результати**. Проведений аналіз радіоелектронної системи літака та робіт з продовження її ресурсу. **Висновки.** В результаті розгляду існуючих методів розрахунку показників довговічності радіоелектронної системи літака виявлені фактори, які впливають на необхідність вдосконалення існуючого науково-методичного апарату, який застосовується для вирішення цих завдань.

Ключові слова: залишковий ресурс, літак, продовження терміну служби, радіоелектронна система, технічний стан.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Науково-технічний прогрес і пов'язане з ним вдосконалення елементної бази істотно змінюють характер експлуатації та технічного обслуговування радіоелектронних систем сучасних літаків. Широке застосування апаратури виготовленої з використанням мікроелектронних компонентів, впровадження сучасних цифрових технологій з високим ступенем інтеграції робить проблематичним застосування існуючого науково-методичного апарату через продукування грубих і завищених прогнозів показників безвідмовності радіоелектронної системи літака. Це обумовлює необхідність критичного аналізу відомих моделей оцінки відмов та розрахунку показників залишкового ресурсу радіоелектронних систем літаків та їх комплектуючих з метою оцінки залишкового ресурсу та продовження призначених термінів служби зі збереженням відповідних показників якості експлуатації [8].

Аналіз літератури. Аналіз літератури показав [2, 4, 7], що на сучасному етапі не в повній мірі враховано впровадження в радіоелектронну апаратуру сучасної елементної бази. Широке застосування комплектуючих елементів в мікроелектронному виконанні призводить до кардинальних змін потоків відмов в радіоелектронних системах. Застосування відомих параметричних та імовірнісних методів оцінки надійності та безвідмовності роботи [5, 6] не дає змоги отримати адекватні результати. Даний факт тягне за собою необхідність вдосконалення існуючого науково-методичного апарату, що застосовується для розрахунку показників довговічності та можливості продовження призначених термінів служби радіоелектронної системи літака.

Метою статті є проведення аналізу існуючого методичного апарату, що застосовується для розрахунку показників довговічності та можливості продовження призначених термінів служби радіоелектронної системи літака

Основна частина

Аналіз РЕС літака як об'єкта експлуатації і визначення його залишкового ресурсу

Радіоелектронна система сучасного літака являє собою складний радіоелектронний комплекс, що складається з функціонально пов'язаних виробів, призначених для цілеспрямованого виконання єдиного завдання або ряду завдань, пов'язаних з передачею, отриманням і перетворенням як польотної інформації, так і інформації про повітряну обстановку. В цілому, в складі РЕС літака можна виділити наступні групи обладнання:

- пілотажно-навігаційне обладнання;
- радіотехнічне обладнання навігації, посадки та управління повітряним рухом;
- радіозв'язне обладнання;
- електротехнічне обладнання;
- світлотехнічне обладнання;
- засоби контролю роботи силової установки;
- бортові інформаційні системи – система відображення інформації, система сигналізації і т.п.

Апаратура й устаткування цих засобів різномірні за складом і виконанням. Можна виділити наступні технологічно однорідні групи апаратури: радіоелектронна апаратура (РЕА) в мікроелектронному виконанні (МЕВ), РЕА з використанням навісних елементів, електромеханічні і механічні вузли і пристрої. Все радіоелектронне обладнання літака, незалежно від приналежності до тієї чи іншої з перерахованих груп, часто називають авіонікою. Бортові інформаційні системи також належать до цієї групи устаткування.

Склад авіоніки різний для різних класів літаків. Розглянемо його на прикладі пасажирських магістральних літаків, таких, як Ту-204, Airbus A-320, Boeing 757, де авіоніка представлена найбільш широко. Її можна розділити на наступні групи:

- системи первинної інформації;
- радіонавігаційні системи;

- радіозв'язкові системи;
- системи автоматичного пілотування;
- бортові інформаційні системи;
- інші пілотажно-навігаційні системи.

В загальному випадку схему взаємодії екіпажу, вузлів, систем і механізмів з радіоелектронною системою літака в загальному вигляді можна представити наступним чином (рис. 1).

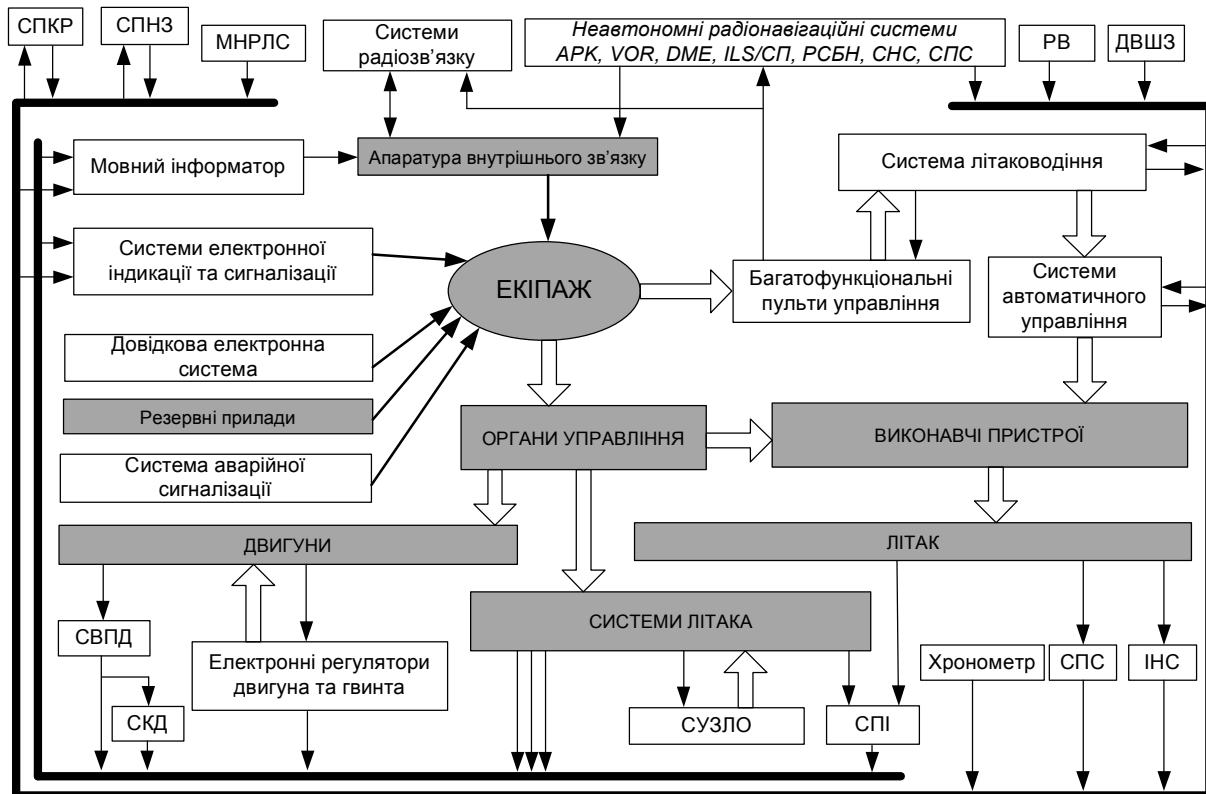


Рис. 1. Авіоніка сучасного літака: СПНЗ – система попередження про наближення землі, СПКР – система попередження критичних режимів, МНРЛС – метеонавігаційна РЛС, РВ – радіовисотомір, ДВШЗ – доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу, ІНС – інерціальна навігаційна система, СПС – система повітряних сигналів, СПІ – система перетворення інформації, СУЗЛО – система управління загальнолітаковим обладнанням, СКД – система контролю двигуна, СВПД – система вимірювання параметрів двигуна

Використання сучасної елементної бази істотно вплинуло на конструктивні і функціональні особливості побудови апаратури. Якщо в РЕС попередніх поколінь основними елементами для побудови були електрорадіоелементи (резистори, конденсатори, реле, транзистори, електронні лампи і ін.), сукупність яких була укладена в блоки, то в апаратурі РЕС нових типів електрорадіоелементи, що утворюють електричну схему, розміщені в більш дрібних елементах – комірках, субблоках.

На сучасному етапі розвитку різко зросла насиченість апаратури засобами обчислювальної техніки. У нових виробках застосовуються спеціалізовані машини і обчислювальні комплекси, різні обчислювачі. Обробка і передача переважної частини сигналів здійснюється в цифровому вигляді.

У зв'язку із застосуванням ІМС та наявною тенденцією до скорочення габаритів апаратури значно підвищується кількість радіоелектронних елементів, що припадають на кубічний сантиметр об'єму апаратури, що створює додаткові труднощі в дотриманні необхідного теплого режиму при роботі РЕА. Зросла функціональна значимість охолоджувачів повітря в РЕС і вимоги до якості їх функціонування. Свідченням цього може служити частка не-

підтверджених відмов ТЕЗ від загального числа ТЕЗ, які присилаються на ремонт на заводі-виробники.

Таким чином, до складу РЕС сучасних літаків входять різноманітні групи обладнання: РЕА з використанням дискретних елементів, електромеханічні, механічні та інші пристрої, що характеризуються різними механізмами відмов, різними ресурсами і термінами служби.

На сучасному етапі вимірювання безвідмовності виробів електронної техніки зводиться до оцінки інтенсивності відмов або ймовірності безвідмовної роботи в інтервалі (0-1000 годин) або (0-5000 годин), що становить малу частку напрацювання виробів електронної техніки в РЕС літака. При цьому використовується параметричний метод оцінки для $\lambda(t) = const$, тобто оцінки параметра λ відбуваються при експоненційній функції розподілу, що призводить до грубих і завищених прогнозів показників безвідмовності та є неприйнятним для вирішення завдань продовження ресурсу РЕС літака.

Більш адекватні двопараметричні моделі відмов також неприйнятні, тому що внаслідок малої статистики оцінки двох параметрів можуть призвести до великих похибок. З викладеного випливає, що

застосування так званих строго імовірнісних методів оцінки високонадійних комплектуючих елементів і комплектуючих виробів для вирішення завдань продовження ресурсів не представляється можливим.

Аналіз робіт з продовження ресурсів РЕС літака та методик розрахунку показників довговічності. Сукупність робіт з продовження ресурсів РЕС літака обумовлена необхідністю забезпечити відповідність показників якості РЕС заданим вимогам в процесі тривалої експлуатації при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Сукупність робіт з продовження ресурсів РЕС повинна включати в себе:

- збір, аналіз і узагальнення наявної інформації про довговічність і зберігання виробів;
- оцінку ТС виробів на місцях експлуатації і ремонту;
- проведення досліджень літаків в цілому і оцінку їх ТС в процесі і після випробувань;
- розбирання виробів на складові частини і комплектуючі вироби і оцінку технічного стану (ТС) демонтованих складових частин і комплектуючих виробів;
- проведення випробувань складових частин і комплектуючих виробів і оцінку їх ТС в процесі і після випробувань;

– прогнозування технічного стану виробів на період продовження, оцінка техніко-економічної ефективності продовження і розробку проекту рішення на продовження і плану заходів щодо забезпечення експлуатації літака на період продовження.

В результаті виконання цих робіт приймаються рішення про продовження ресурсів (термінів служби) РЕС і розробляються заходи щодо забезпечення її експлуатації на продовжуваний період.

Під продовженням ресурсів (термінів служби) літаків будемо розуміти роботи, які спільно проводяться підприємствами та організаціями замовника (експлуатанта), розробника і виробника по:

- визначенню можливості експлуатації виробів за межами попередньо встановлених значень призначених ресурсів і термінів служби до ремонту і списання;
- розробці та реалізації заходів щодо забезпечення експлуатації виробів на продовжуваний період.

Для проведення робіт з продовження ресурсів РЕС літака необхідно їх науково-методичне забезпечення. Перелік основних завдань продовження ресурсів РЕС літака та їх необхідного забезпечення наведено на рис. 2, 3. Так, зокрема, методика розрахунку призначених термінів служби (ресурсів) РЕС літака та інших виробів не опрацьована в достатній мірі, величини призначених ресурсів або термінів служби задаються, як правило, за даними показників довговічності аналогів. При такому підході неможливо врахувати особливості нової конструкції виробу, його нової елементної бази, що дає в цілому, грубі оцінки середнього або гамма-відсоткового термінів служби виробу. В результаті виконання цих робіт встановлюється призначений ресурс (термін служби) до ремонту. Тривалий досвід експлуатації показує, що призначені терміни служби (ресурси)

занижені, що призводить до необхідності виконання певного обсягу робіт з продовження ресурсів, по виведенню літака з експлуатації на час виконання цих робіт, по рішенню завдань розрахунку й оцінки показників залишкового ресурсу. Для вирішення задачі продовження ресурсів необхідна розробка методичного апарату з розрахунку показників залишкового ресурсу на момент вироблення РЕС літака призначених ресурсів (термінів служби) за даними їх експлуатації і апріорної інформації, по розробці програм випробувань і обґрунтування планів випробувань і оцінки показників довговічності за результатами випробувань.

Особливістю завдань продовження ресурсів РЕС є необхідність оцінки не тільки показників залишкового ресурсу і контролю відповідності виробів вимогам надійності, але і визначення заходів щодо забезпечення експлуатації РЕС літака на продовжуваний період (рис. 4). В результаті проведення розрахунків, планування і проведення випробувань і обробки їх результатів повинні бути визначені роботи: по заміні комплектуючих виробів (КВ), функціональних вузлів (ФВ) на вироби поточного випуску, або на їх сучасні аналоги; по ремонту окремих складових частин, функціональних систем (ФС), ФВ і КВ РЕС літака.

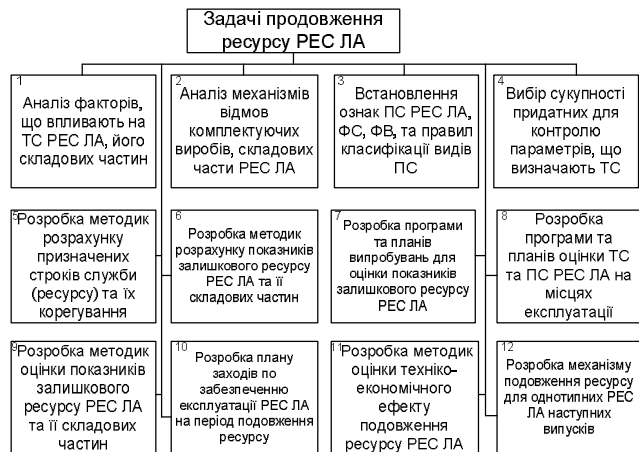


Рис. 2. Перелік основних завдань продовження ресурсів РЕС літака



Рис. 3. Зміст спільного рішення замовника, розробника і виробника на продовження ресурсу

Відомі наукові розробки в цій галузі [5, 6] засновані на строго імовірнісних методах розрахунку показників довговічності РЕС літака. У цих роботах передбачаються відомими щільності розподілу на-

працювань комплектуючих елементів (КЕ) до відмов, або знаходяться параметри цього закону розподілу по накопиченим статистичними даними про відмови за встановлений термін служби.

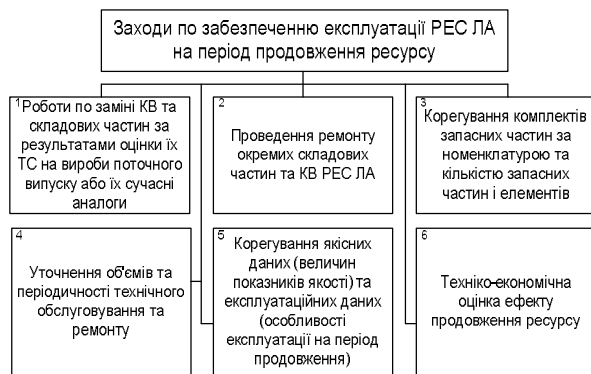


Рис. 4. Склад робіт плану заходів щодо забезпечення експлуатації АЕС літака на продовжуваній період

Далі для відомих щільностей розподілу напрацювань КЕ до відмов (або напрацювань схемних позицій між відмовами) розраховуються параметри потоків відмов. Розрахунок параметра потоку відмов певної схемної позиції АЕС літака здійснюється шляхом вирішення рівняння Вольтерра

$$\omega_i = f_i(t) + \int_0^t f_i(t-\tau)\omega_i(t)dt, \quad (1)$$

де $f_i(t)$ – щільність розподілу напрацювання i -ї схемної позиції на відмову.

Такий підхід передбачає необмежене число повних відновлень кожної схемної позиції АЕС літака за призначений ресурс або термін служби. Але ці припущення не виконуються для деяких схемних позицій з наступних причин:

- число відновлень певної схемної позиції на розглянутому інтервалі експлуатації обмежена;
- відновлення ресурсу схемної позиції може бути різної глибини: повним, неповним, мінімальним.

Далі в відомих методиках [1] здійснюється розрахунок параметра потоку відмов однорідних груп КЕ і розрахунок параметра потоку відмов АЕС літака в цілому шляхом підсумовування параметрів потоку відмов всіх груп однотипних КЕ АЕС літака. Такий підхід передбачає структурну схему надійності АЕС літака послідовною. При цьому змінення визначальних параметрів (ВП) ФС або не враховується [3], або здійснюється на рівні КЕ шляхом подання щільності розподілу напрацювань схемних позицій між відмовами вигляді суперпозиції експоненціального і усіченого нормального розподілу

$$f_i(t) = c_i \lambda_i \exp(-\lambda_i t) + \frac{(1-c_i) \exp\left(-\frac{(t-T_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)}{\sqrt{2\pi\sigma_i} \Phi(T_i/\sigma_i)}, \quad (2)$$

де λ_i – інтенсивність відмов КЕ i -го типоміналу; T_i та σ_i – параметри нормального розподілу

напрацювання КЕ до поступової відмови; c_i – коефіцієнт відносної кількості раптових і поступових відмов КЕ i -го типоміналу,

$$\Phi(u) = \left(\sqrt{2\pi}\right)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^u \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

Значення параметрів T_i та σ_i знаходяться через математичне очікування і середньоквадратичне відхилення ВП комплектуючих елементів для різних моментів часу в припущенні, що функція зміни ВП лінійна, а його значення в будь-який момент часу розподілені по нормальному закону. Такий метод передбачає наявність і можливість контролю ВП для кожного КЕ або групи однорідних КЕ в відповідних часових перетинах, а також знання величини c_i , яка, по-перше, є функцією часу, що не враховується у формулі (1.2), і, по-друге, способи оцінки c_i не відомі, а передбачувані для користування коефіцієнти c_i [48] є орієнтовними і не придатними для проведення розрахунків показників ЗР. Розрахунок показників довговічності по такій схемі не придатний для вирішення завдань продовження ресурсів АЕС літака, тому що:

- орієнтований, в основному, на послідовну структурну схему надійності (ССН), або на іншу структурну схему надійності але з відомими коефіцієнтами функціональної значущості, точність яких невідома;

- багаторівнева структура АЕС літака враховується спрощено, тобто представляється у вигляді сукупності певним чином з'єднаних з точки зору надійності КЕ;

- має великі похибки розрахунку параметра потоку відмов АЕС літака і показників довговічності.

Основні відмінності підходу до розрахунку показників довговічності АЕС літака до обґрунтування обсягів їх планових ремонтів, запропонованого в [89], полягає в експериментальній оцінці щільності розподілу напрацювання певної схемної позиції на відмову за даними експлуатації у вигляді суперпозиції трьох щільностей розподілу:

$$f_i(t_k) = c_1 f_1(t_k) + c_2 f_2(t_k) + c_3 f_3(t_k), \quad (3)$$

де $f_i(t_k)$ – щільність розподілу календарної тривалості робіт КЕ до відмови під дією виробничих дефектів ($i=1$), випадкових експлуатаційних навантажень ($i=2$) і старіння ($i=3$) відповідно;

c_i – вагові коефіцієнти, що характеризують частку відмов КЕ по першій, другій і третій причинам відповідно, причому $\sum_{i=1}^3 c_i = 1$.

Для відмов, обумовлених дефектами виробництва, щільність розподілу $f_1(t)$ пропонується апроксимувати розподілом Вейбулла або експоненціальним з параметром λ_1 . Для відмов, обумовлених старінням, – нормальний розподіл з математичним очі-

куванням m_3 і середньоквадратичним відхиленням σ_3 або розподіл Вейбулла. Відмови, зумовлені дією випадкових експлуатаційних навантажень, пропонуються описувати експоненціальним розподілом з параметром λ_2 .

Теоретична щільність розподілу, представлена у вигляді суміші експоненціального і нормального розподілів, добре апроксимує емпіричну щільність розподілу. Природно, що отримані таким чином щільності розподілу напрацювань КЕ до відмов є усередненими по всій множині однотипних КЕ в кожному виробі і по всіх виробках. Відомо, що умови і режими функціонування однотипних КЕ в різних функціональних вузлах і системах літака відрізняються. Крім цього, для оцінки міжремонтних термінів експлуатації літака при заданій тривалості експлуатації t_e слід застосовувати коефіцієнт готовності літака, що розраховується за формулою:

$$K_z = \left(1 + \sum_{i=1}^k T_{ei} \omega_i(t) \right)^{-1} \cdot \exp \left[-t_e \sum_{i=1}^k \omega_i(t) \right], \quad (4)$$

де характеристика $\omega(t)$ визначена для однакових напрацювань t ; k – кількість однотипних груп комплектуючих елементів; T_{ei} – середній час відновлення i -ї групи КЕ.

Для приведення коефіцієнта K_z до календарних одиниць часу використовуємо наступний вираз:

$$K_z(t) = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_g} \sum_{i=1}^k T_{ei} \omega_i(t_k)} \exp \left[-\frac{t_e}{K_g} \sum_{i=1}^k \omega_i(t_k) \right], \quad (5)$$

де K_g – коефіцієнт використання апаратури під навантаженням, а $t_k = 1/K_g$.

З наведених співвідношень випливає, що всі групи КЕ знаходяться однаковий час під навантаженням. Відомо, що річне напрацювання різних ФС відрізняється, що зумовлено їх різною безвідмовністю, різним використанням, різним включенням при відновленні працездатності та з інших причин. Крім цього, інтенсивності використання різних ФВ, блоків, КЕ так само істотно розрізняються.

Слід зазначити, що розрахунки нестационарних коефіцієнтів готовності, що проводяться за формулами (4), (5), так само є наближеними, так як проводяться по співвідношенню для стаціонарного коефіцієнта готовності, для одного режиму функціонування КЕ, при якому відмова одного КЕ призводить до припинення функціонування інших до моменту відновлення КЕ, який відмовив.

Похибки таких розрахунків показника довговічності РЕС літака важко оцінити, і, отже, використання такої методики для розрахунків показників залишкового ресурсу РЕС є проблематичним.

Таким чином, відомим методикам розрахунку показника довговічності РЕС літака та інших технічних систем притаманні наступні недоліки:

– розрахунок параметрів потоку відмов схемних позицій передбачає можливість необмеженого числа повних відновлень за призначений ресурс або термін служби РЕС літака, що не виконується для більшості типів КЕ РЕС;

– розрахунок параметрів потоку відмов РЕС літака, що подається сукупністю КЕ, передбачає в основному, послідовну ССН, або іншу структурну схему надійності але з відомими коефіцієнтами функціональної значущості, точність визначення яких невідома. При цьому багаторівнева структура РЕС літака, різні режими функціонування ФС, вузлів при відновленні працездатності, тренуваннях операторів і інших роботах враховується спрощено;

– при розрахунках показників довговічності параметрична надійність РЕС літака або не враховується, або її вплив враховується орієнтовно з великими похибками на рівні комплектуючих виробів;

– методики розрахунку показників довговічності, як правило, орієнтовані на застосування чисто імовірнісних моделей безвідмовності КВ і накопичених даних про їх відмови за призначений термін служби по всьому парку однотипних систем. Наведені методики мають великі похибки і не дозволяють коректно проводити розрахунки показників ЗР РЕС літака, що виробили призначений термін служби, з урахуванням їх фактичного ТС і рівня надійності.

У зв'язку з цим сформульована основна науково-технічна задача розробки науково-методичного апарату для розрахунку показників залишкового ресурсу РЕС літака, що виробили призначений термін служби, з урахуванням їх фактичного стану і рівня надійності.

Вирішення цього завдання зводиться до вирішення наступних взаємопов'язаних окремих задач:

1. Аналіз робіт з продовження ресурсів РЕС літаків і розробка загальних положень щодо розрахунку залишкового ресурсу.

2. Розробка математичних моделей потоків відмов КВ РЕС літака, які враховують сформульовані вище особливості його функціонування.

3. Розробка математичних моделей для розрахунку показників залишкового ресурсу і залишкового напрацювання КВ, ФВ і ФС РЕС літака.

4. Розробка методики розрахунку показників залишкового ресурсу РЕС літака та його ФС, що дозволяє вирішувати завдання продовження ресурсів.

Зазначена послідовність рішення наукової задачі визначає структуру дисертаційної роботи.

Висновки

1. Проведений аналіз РЕС літака як об'єкта експлуатації та визначення залишкового ресурсу дозволив виділити наступні особливості:

– різномірний склад авіоніки літака за конструктивним виконанням та складу з широким застосуванням сучасної елементної бази;

– наявність значних запасів надійності, які витрачаються в процесі тривалої експлуатації, і труднощі вивчення фізичних процесів, що передують

виникненню відмов РЕС, неможливість побудови універсальних математичних моделей витрати параметричної надійності;

– широке застосування апаратури в мікроелектронному виконанні, що обумовлює труднощі вимірювання її безвідмовності та робить неприйнятним застосування строго імовірнісних методів оцінки показників її надійності;

– збільшення частки схемних позицій (комплектуючих елементів) РЕС літака, які протягом призначеного строку служби не відмовляють, або відмовляють не більше одного-двох разів;

– широкий спектр комплектуючих елементів і різноманітність механізмів відмов під впливом комплексу експлуатаційних навантажень.

2. Проведений аналіз робіт з продовження ресурсів літака показує на відсутність в даний час їх досконалого науково-методичного забезпечення. Показано, що для ефективного в нових умовах вирішення завдань продовження ресурсів необхідна розробка методичного апарату:

– з розрахунку показників залишкового ресурсу на момент вироблення призначеного ресурсу;

– по розробці програм випробувань, обґрунтуванню планів випробувань та оцінки показників за-

лишкового ресурсу РЕС літака за результатами випробувань;

– по розробці заходів для підтримки працездатності і надійності літака на подовжений період експлуатації та по оцінці їх техніко-економічної ефективності.

3. Аналіз методик і методів розрахунку показників довговічності РЕС літака вказує на такі недоліки:

– розрахунок параметра потоку відмов РЕС літака передбачає необмежене число повних відновлень схемних позицій за призначений ресурс або термін служби, послідовну ССН, спрощено враховує багаторівневу структуру РЕС літака, режими функціонування його ФС, ФВ при відновленні працездатності, тренуваннях та інших роботах;

– при розрахунках показників довговічності параметрична надійність РЕС літака або не враховується, або її вплив враховується грубо, з великими похибками на рівні комплектуючих елементів;

– методики розрахунку показників довговічності не дозволяють коректно проводити розрахунки показників залишкового ресурсу РЕС літака, що виробили призначений термін служби, з урахуванням їх фактичного стану і рівня надійності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник. Якість, надійність радіоелектронної апаратури: [монографія] / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник; за ред. Л.А. Недоступа. – Львів: Львівська політехніка, 2013. – 196 с.
2. Бобало Ю.Я. Аналіз методів оцінювання безвідмовності систем сумісно працюючих компонентів електронних пристроїв / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, О.В. Лазько // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 7 (26). – С. 212–214.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность: пер. с англ. И.А.Ушакова, М.: Наука, 1985г.
4. Юрков Н.К. К проблеме моделирования риска отказа электронной аппаратуры длительного функционирования / Н.К. Юрков, И.И. Кочегаров, Д.Л. Петрянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4 (32). – С. 220-231.
5. Гудков М. В. Методика прогнозування надійності радіоелектронного обладнання при експлуатації авіаційної техніки за станом з контролем параметрів / М.В. Гудков // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 4(24). – С. 32-35.
6. Сучасні методи прогнозування технічного стану авіаційної техніки / О. М. Добриденко, А. С. Бологін, М. Ф. Хільченко, Р.Б. Белінська // Збірник наукових праць ДНДІА. - 2011. - Вип. 7(14). - С. 163-167.
7. Чернявський В. М. Застосування непараметричних методів для оцінки рівня надійності авіаційної техніки з низькою інтенсивністю експлуатації / В.М. Чернявський // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2012. – № 3(32). – С. 59-63.
8. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. – [Чинний від 1995-01-25]. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 51 с.

Received (Надійшла) 21.12.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.02.2020

Analysis of the radio electronic system of the airplane as an object for extending the life

S. Haievskiy, S. Balakireva, D. Komarov, V. Yavtushenko

Abstract. The **subject matter** of the article is the functioning processes of the electronic system of a modern aircraft, its components and functional units as an object of operation and determination of residual life. The **goal** is the analysis of the existing methodological apparatus used to calculate the durability indicators and the possibility of extending the assigned service life of the aircraft electronic system. The **tasks**: to analyze the contradictions in the practice of assessing the residual life of the aircraft electronic system; to analyze the scientific and methodological apparatus used to evaluate it. The methods analyzed are: parametric methods and probabilistic methods for evaluating the uptime. Analyzed **methods** are: parametric methods and probabilistic methods for evaluating uptime. The following **results** were obtained: The analysis of the aircraft electronic system and work to extend its life. **Conclusions.** As a result of consideration of existing methods for calculating the durability of the aircraft electronic system, factors were identified that affect the need to improve the existing scientific and methodological apparatus used to solve these problems.

Keywords: residual life, aircraft, life extension, electronic system, technical condition.