

Беззубець Сергій Валентинович
Сорочан Олександр Олександрович

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

ОБҐРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТРАНСПОРТНОЇ АВІАЦІЇ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

У статті проаналізовано систему технічного обслуговування повітряних суден та можливості її удосконалення.

Ключові слова: *програма технічного обслуговування, стратегії технічного обслуговування, система технічного обслуговування, експлуатація за технічним станом, продовження призначених показників.*

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Україна є однією з небагатьох країн світу, які реалізують повний цикл авіаційної діяльності – від проектування авіаційних двигунів і літаків до їх експлуатації, обслуговування та ремонту. Зміст і обсяг технічного обслуговування сучасного повітряного судна (ПС) необхідно визначити ще на етапах його проектування і початку його будівництва одночасно з рішенням задач забезпечення його конструктивно-експлуатаційних властивостей. Саме на цих етапах повинна формуватися програма технічного обслуговування на тривалий період експлуатації ПС, що є основою для розроблення експлуатаційно-технічної документації, насамперед формування програм технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). Необхідність удосконалення програми ТО і Р визначається тим, наскільки повно вона забезпечує відповідність процесу технічної експлуатації (ТЕ) об'єктивно діючому процесу зміни технічного стану об'єкту. Традиційна програма ТО і Р, яка заснована на виконанні фіксованих обсягів профілактичних робіт через заздалегідь заплановані інтервали часу або напрацювання, як відомо, забезпечує слабку взаємодію між станами об'єкту та процесом його експлуатації.

Більш того, виконання заздалегідь призначеного обсягу профілактичних робіт у встановлені терміни для більшості знімних виробів не зменшує вірогідності виникнення відмов, а для деякого обладнання, наприклад, радіоелектронного, збільшується потік відмов після ремонтних робіт.

Метою дослідження є обґрунтування шляхів удосконалення системи технічного обслуговування повітряних суден.

Виклад основного матеріалу. Результати проведених досліджень і досвід експлуатації ПС свідчать про те, що більш тісний зв'язок між станом об'єкту та процесом його експлуатації забезпечує програми ТО і Р авіаційної техніки (АТ), які засновані на раціональному сполученні стратегії ТО і Р за станом з традиційним методом виконання профілактичних робіт із заданою періодичністю й обсягом. Головна особливість такої програми полягає в тому, що стан процесу, обсяги робіт щодо обслуговування і ремонту призначаються згідно з технічним станом, що характеризує об'єкт у даний час. При цьому програма ТО і Р повинна забезпечувати заданий рівень безпеки польотів, бойової готовності та використання за призначенням (нальоту) при мінімальних витратах ресурсів на проведення ТО і Р.

Вихідними даними для формування програм ТО і Р є:

стратегія ТО і Р, що призначена конкретним елементам функціональних систем;

показники ефективності систем контролю;

вартість праці, об'єм і тривалість виконання ТО і Р;

характеристики надійності елементів функціональної системи;

вартість розробки та впровадження варіанту програми ТО і Р, який розглядається.

Визначальною операцією при формуванні програм ТО і Р є вибір стратегії ТО і Р для кожного елемента функціональних систем. Вибір стратегії ТО і Р і склад робіт по ТО і Р в цих моделях засновується на застосуванні інженерно-логічного аналізу впливу характеристик надійності функціональних систем елементів на безпеку польотів, боєготовність, бойову та економічну ефективність застосування ПС. В даному випадку використані наступні загальні критерії вибору стратегії ТО і Р:

- критерії функціональної значимості;
- критерії доступності для контролю;
- критерії достовірності (точності) контролю.

Критерії вибору стратегії ТО і Р.

При виборі стратегії ТО і Р елементів систем ПС в першу чергу визначається категорія важливості функціональної відмови за допомогою евристичних критеріїв функціональної значимості (рис. 1):

- безпека польотів;
- ефективність застосування;
- витрати на експлуатацію.



Рис. 1. – Загальні критерії вибору стратегії ТО і Р по функціональній значимості.

Для АТ найбільш важливим є критерій щодо безпеки польотів. Тому при встановленні важливості функціональної відмови в першу чергу визначаються наслідки відмови:

- В1 – відмова приводить до авіаційної події (аварії, катастрофи);
- В2 – відмова приводить до інциденту;
- В3 – відмова не приводить до небезпечних для безпеки польотів наслідків.

Після розподілу елементів функціональних систем по впливу їх відмов на безпеку польотів (по категоріям В1, В2, В3) проводиться остаточний вибір системи технічного обслуговування (далі по тексту СТО). При цьому виборі використовуються евристичні критерії доступності для контролю, точності контролю, критерії ефективності функціонування та витрат на експлуатацію.

Для вибору стратегії ТО і Р АТ важливими також є ще два наступних критерія.

По-перше критерій ефективності застосування (П):

- П1 – невиконання польотного завдання;
 П2 – затримка вильоту, зниження ефективності (зменшення вірогідності виконання польотного завдання);
 П3 – без наслідків.
 По-друге критерій витрат на експлуатацію:
 Е1 – витрати на запобігання відмови більше, чим від невиконання польотного завдання;
 Е2 – витрати на запобігання відмови менші, чим від невиконання польотного завдання.
 З технічної точки зору високу значимість мають критерії доступності контролю (рис. 2):
 Д1 – контроль в експлуатації не можливий;
 Д2 – контроль в експлуатації утруднений, тому що потрібен демонтаж блоків, агрегатів, додаткові засоби наземного обслуговування, великі працевтрати;
 Д3 – контроль в експлуатації можливий без проведення демонтажних робіт;
 та критерії точності (достовірності) контролю:
 Т1 – достовірність контролю, при якому не забезпечується надійне виявлення відмови;
 Т2 – достовірність контролю, при якому забезпечується надійне виявлення відмови.

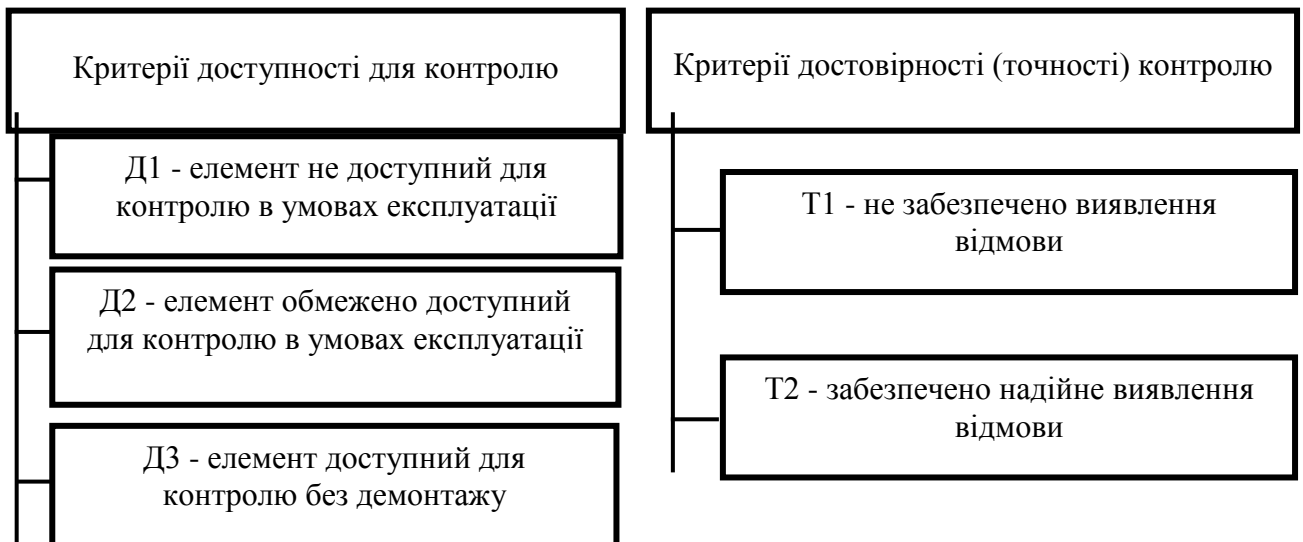


Рис. 2. – Технічні критерії вибору стратегії ТО і Р.

Таким чином, в нинішній час можуть бути розроблені та апробовані загальні критерії вибору стратегії ТО і Р. На основі загальних критеріїв створюються моделі вибору стратегії ТО і Р, які в загальному застосовуються для будь-яких функціональних систем. Для формування конкретного переліку робіт, визначення їх обсягу та періодичності додатково можуть застосовуватися спеціальні критерії, які відображають специфічні властивості конкретних функціональних систем.

Аналіз технічного стану АТ ПС ЗС України показує, що з 2014-2019 років відбувається вичерпання призначених ресурсів планера та систем основних типів ЛА бойового складу. Вже зараз відбувається вичерпання їх призначених термінів служби.

Починаючи з 2000-х років в Україні проводяться цілеспрямовані дослідження щодо пошуку можливостей переведення БО на обслуговування та ремонт за технічним станом. Дослідження проводяться з урахуванням наступних основних відмінностей (принципів) стратегії ТО і Р за станом.

1. Дотримання суворої плановості при проведенні видів технічного обслуговування і ремонту АТ. Однак плануємими є лише частина стандартних регламентних операцій за

наробітком: роботи з технічного діагностування та контролю об'єктів і сама періодичність їх виконання. Регульовальні, демонтажно-монтажні, відновлювальні роботи на об'єктах виконуються тільки за результатами контролю.

2. Своєчасне попередження відмови виробів за умовою забезпечення максимального можливого наробітку їх до заміни. Попереджувальний характер експлуатації забезпечується шляхом організації постійного спостереження за станом виробів при їх експлуатації за рівнем надійності, а у ряді випадків і за технічним станом об'єктів з метою своєчасного виявлення передвідмовного стану.

3. Забезпечення економічності експлуатації АТ досягається за рахунок більш повного використання індивідуальних можливостей кожного виробу у відношенні працездатності, використовуючи принцип експлуатації "заміни з конкретної причини" тобто елементи систем і агрегатів ЛА знімають з експлуатації при наявності в них конкретної відмови (дефекту), а не тому, що перевищено аналітично розрахований максимум довговічності (ресурсний потенціал). Проведені розрахунки та закордонна практика свідчать про те, що при впровадженні ТО і Р за станом можна одержати скорочення витрат на 30%.

4. Корегування обслуговування при зниженні показників надійності нижче гранично допустимого рівня.

Крім відмінності в самому характері технологічних процесів стратегії ТО і Р відрізняються і розподілом ресурсів, потрібних на розвиток виробничо-технічної бази, яка відповідає вимогам тієї чи іншої стратегії.

Стратегії за станом передбачають забезпечення високого рівня експлуатаційно-ремонтної технологічності конструкцій, створення ефективних засобів контролю, розвиток виробничо-технічної та експериментальної бази експлуатуючих організацій та ремонтних підприємств авіаційної промисловості.

Стратегія за наробітком передбачає розвиток у першу чергу експериментальної бази підприємств і забезпечення на цій основі обґрунтованих ресурсів до ремонту. Продовження призначених показників доцільно здійснювати за загальною схемою, що притаманна поширеній зараз у світі системі експлуатації АТ за технічним станом. Ця система містить заходи щодо ретельного контролювання реального технічного стану АТ, своєчасного усунення недоліків, що виявлено при її експлуатації, ремонті та в ході спеціальних досліджень, прогнозування технічного стану і надійності на перспективу та прийняття на цій основі рішення щодо можливості її подальшої експлуатації без виконання обов'язкових (за старою системою) планових ремонтів.

Оцінка бортового обладнання, як об'єкту технічної експлуатації

Розширення кола завдань, які стоять перед сучасними ЛА, привело до корінних кількісних та якісних змін в обліку бортового обладнання (далі – БО), його інтеграції, ускладненню взаємних зв'язків між його елементами. Це забезпечує багатофункціональність, структурну і функціональну надмірність сучасних комплексів БО, що є відмінною особливістю принципів їх побудови.

Комплекс БО сучасного ПС представляє собою складну технічну систему передусім через багатофункціональність, наявність структурної та функціональної надмірності. Особливість експлуатації складної технічної системи полягає в тому, що її технічний стан визначається не тільки технічними параметрами складових частин системи (коефіцієнтами посилення, потужністю сигналів на виході, постійними часу й т.п. підсистем, каналів, блоків), але й в значній мірі взаємними зв'язками між цими складовими частинами.

Специфіка експлуатації авіаційного БО до того ж обумовлена ще й суттєвою різницею умов його застосування у повітрі та технічного обслуговування на землі. В польоті на БО впливають спектр вібраційних і динамічних навантажень, воно функціонує при зниженому атмосферному тиску.

Застосування нової елементної бази та цифрової обробки польотної інформації привело до суттєвої зміни характеру процесів, які описують зміни технічного стану БО за часом.

Нехай технічний стан виробу БО характеризується деякою сукупністю параметрів x_1, x_2, \dots, x_n , які в початковий момент експлуатації t_0 мають номінальне значення $x_{ном}$ (рисунок 3). Вихід будь-якого параметра $x_i(t)$, $i = 1, n$ за межі допуску $x_{доп}$ приводить до відмови апаратури.

На рисунку 3.а наведений приклад безперервної монотонної зміни параметрів $x_i(t)$, $i = 1, n$. Причому більша частина параметрів $x_i(t)$, $i = 2, n-1$ зосереджена у вузькому секторі (напрацювання на відмову має незначний розкид), по відношенню до якого параметр $x_1(t)$ зростає швидше, а $x_n(t)$ – значно повільніше. Такий характер зміни технічного стану притаманний більшості типів електромеханічних пристроїв БО, електровакуумних приладів, тощо.

На рисунку 3.б представлений вид зміни параметрів, коли параметри належать широкому сектору від $x_1(t)$ до $x_n(t)$, а саме напрацювання на відмову має суттєвий розкид. Така зміна ТС характерна для напівпровідникових діодів, транзисторів, деяких типів електромеханічних пристроїв БО та інше.

Як видно з рисунків 3.а, 3.б при монотонній зміні параметри $x_i(t)$ підходять до граничного допуску $x_{доп}$ поступово, тому такі відмови БО відносяться до класу поступових.

На рисунку 3.в представлений приклад немонотонної зміни параметрів $x_i(t)$, характерного для раптових відмов. Причому можлива самовільна зміна $x_i(t)$ з непрацюючого стану до номінального значення (відмови, які самоусуваються). Такому характеру зміни технічного стану найбільш піддані електромагнітні реле, штепсельні роз'єми, інтегральні мікросхеми та інше.

БО літаків 2-го покоління складалося, в основному, з електромеханічних елементів та електровакуумних приладів. Тому зазначеному обладнанню був властивий монотонний характер зміни технічного стану з найбільшою часткою (не більш 20%) раптових відмов.

Сучасне БО побудоване на основі інтегральних (цифрових і аналогових) мікросхем. Частка раптових відмов в ньому зросла до 90% і вище, що зводить до нуля ефективність більшості робіт, направлених на прогнозування відмов.

Отже вибір стратегії ТО визначається в основному характером процесу, що описує зміни технічного стану БО за часом.

Для виробів БО, зміни параметрів якого відповідають виду, зображеному на рис. 3.а, раціональною є стратегія ТО і Р по напрацюванню (по виробітку ресурсу), тобто СТОР, якій відповідає планово – попереджувальна система (далі – ППС) ТО і Р.

Основою ППС ТО і Р є призначення періоду виконання регламентних робіт $t_{пр}$, виходячи з аналізу статистичних характеристик застосування параметрів $x_i(t)$, $i = 2, n-1$. З моменту $t_{пр}$ протягом часу $\Delta t_{пр}$ проводяться оцінки ТС виробів, необхідні профілактичні регулювання, заміни елементів і т. ін. Для параметрів виду $x_1(t)$, що швидко змінюються, в між регламентний період призначаються моменти проведення профілактичних робіт $t_{пр}$ (оперативні види підготовок до польотів, періодичні та цільові огляди та інше) з тривалістю $\Delta t_{пр}$. Витрати на управління технічним станом БО окупаються забезпеченням високої безвідмовності роботи обладнання в польоті та на землі, але готовність техніки знижується із-за необхідності проведення планових робіт по ТО і Р БО.

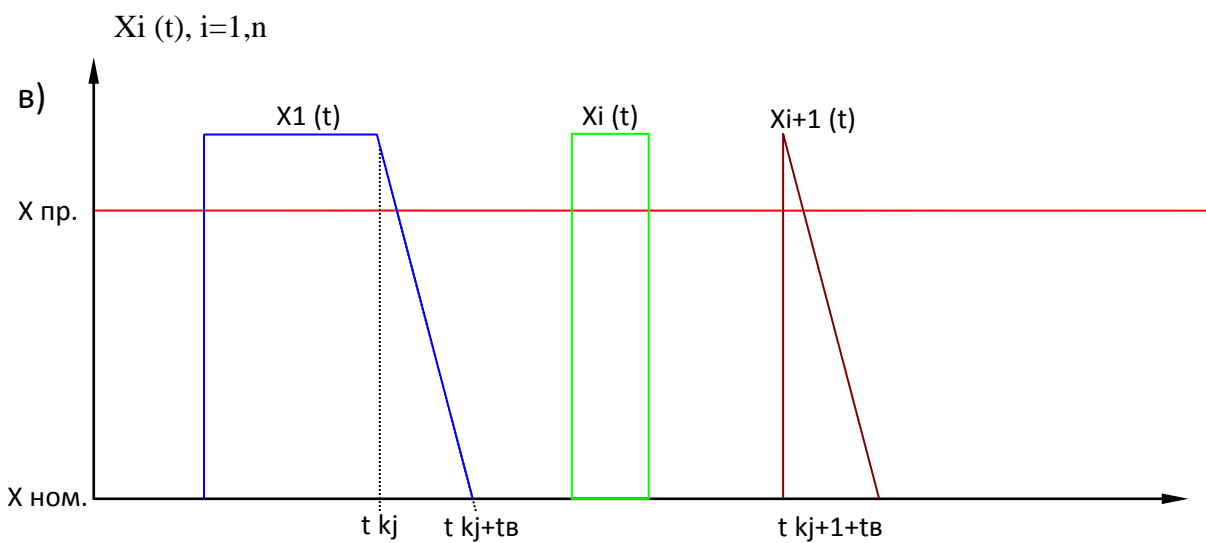
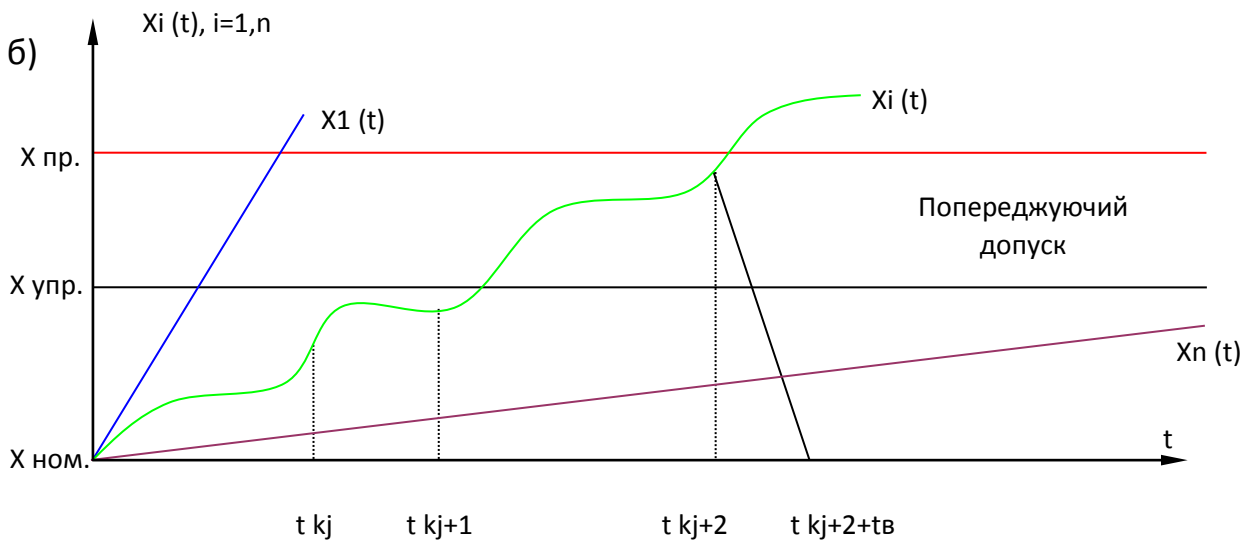
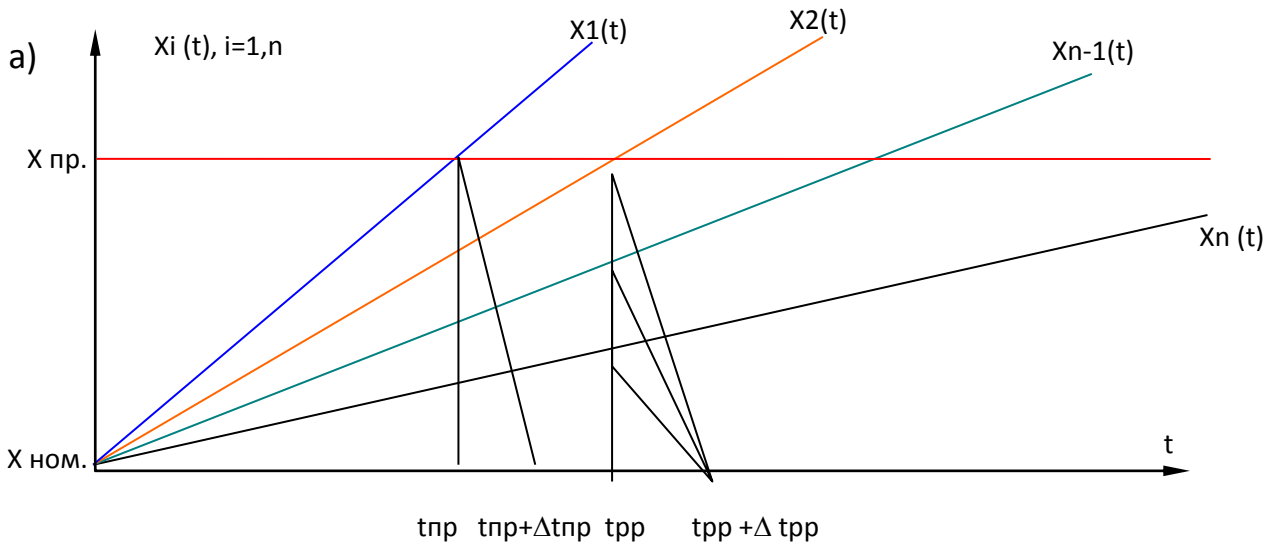


Рис. 3. – Характер зміни технічного стану БО у процесі ТО

Основою ППС ТО і Р є призначення періоду виконання регламентних робіт $t_{пр}$, виходячи з аналізу статистичних характеристик застосування параметрів $x_i(t)$, $i = 2, n-1$. 3

моменту $t_{пр}$ протягом часу $\Delta t_{пр}$ проводяться оцінки ТС виробів, необхідні профілактичні регулювання, заміни елементів і т. ін. Для параметрів виду $x_i(t)$, що швидко змінюються, в між регламентний період призначаються моменти проведення профілактичних робіт $t_{пр}$ (оперативні види підготовок до польотів, періодичні та цільові огляди та інше) з тривалістю $\Delta t_{пр}$. Витрати на управління технічним станом БО окупаються забезпеченням високої безвідмовності роботи обладнання в польоті та на землі, але готовність техніки знижується із-за необхідності проведення планових робіт по ТО і Р БО.

У виробках БО, характер зміни технічного стану якого відповідає зображеному на рис. 3.б, вихід будь-якого параметра $x_i(t)$, $i = 1, n$ за допуски $x_{доп}$ рівно-вірогідний в будь-який момент часу t . Коли при цьому для управління технічним станом використовувати ППС ТО і Р, то витрати на управління при проведенні регламентних робіт будуть менше (скоротиться кількість регулювань, профілактичних заміни і т.п.), але суттєво зросте число відмов БО в міжремонтний період.

При проведенні інших видів ТО і Р їх ефективність тим вище, чим менш період $t_{пр}$. Отже при одних і тих же витратах на ТО і Р безвідмовність та готовність БО буде зменшуватися, тобто, для зазначених виробів БО СТОР не буде раціональною.

Для таких виробів БО найбільш прийнятним є принцип ТО і Р за станом, що відповідає стратегії з контролем параметрів, тобто СТОП.

Методика вибору стратегії технічного обслуговування бортового обладнання

Стратегія технічного обслуговування бортового обладнання (далі по тексту ТО БО) літаків вибирається шляхом логічного аналізу експлуатаційно-технічних характеристик (далі по тексту – ЕТХ), умов експлуатації, особливостей практичного застосування, які властиві для даної конкретної апаратури. Зазначений аналіз проводиться по структурно-логічних схемах на двох рівнях:

на першому рівні – оцінка впливу відмов БО на безпеку польотів і ефективність застосування ПС;

на другому – визначення стратегії ТО для кожного з виробів БО з обліком його ЕТХ і умов експлуатації.

Слід зазначити, що в залежності від задач, поставлених системі обслуговування літаків на визначений період часу, будуть змінюватися структура і характеристики системи технічного обслуговування БО.

Визначальним при виборі стратегії, а отже й обсягу і періодичності (програми) ТО, є функціональна значимість обладнання. Наприклад, якщо відмова виробу може привести до інциденту, а тим більше до аварійної ситуації, у програмі ТЕ необхідно передбачити виконання ефективних профілактичних робіт, що забезпечують максимальну безвідмовність апаратури в польоті.

Якщо ж відмова виробу БО приводить до несуттєвого ускладнення умов польоту, то на цьому виробі проводити планове ТО недоцільно, обмеживши лише його відновленням після відмови. Однак, якщо відмова виробу приводить до невиконання польотного завдання, то цей виріб БО варто розглядати як виріб, що впливає на безпеку польотів.

Обсяг і періодичність ТО вибирається з урахуванням особливостей конструкції БО, його контролепридатності, можливостей засобів експлуатаційного контролю. Важливим при визначенні стратегії ТО є забезпечення відповідності процесу ТО характеру зміни технічного стану БО, про що докладно викладено вище.

Профілактичні роботи з метою забезпечення (а в деяких випадках і підвищення) безвідмовності обладнання класифікуються по трьох видах робіт: догляд, заміна, контроль технічного стану. Роботи з догляду (чищення, змащення й ін.) передбачаються для тих елементів БО, в яких унаслідок зносу спостерігається чітко виражена зворотня залежність безвідмовності від наробітку.

Роботи по заміні доцільні для тих елементів БО у яких після визначеного наробітку спостерігається різкий ріст інтенсивності відмов, а достовірна оцінка технічного стану цих елементів істотно ускладнена або неможлива.

Контроль технічного стану БО є найбільш важливим і відповідальним етапом процесу ТЕ. Мета контролю – з максимально можливою вірогідністю й оперативністю визначити технічний стан БО, який можливо умовно розділити на справне, передвідмовний стан і відмова.

Контроль технічного стану здійснюється шляхом виміру вихідних параметрів БО за допомогою засобів об'єктивного контролю (далі по тексті – ЗОК). Причому із загальної кількості вихідних параметрів вибирається мінімально необхідна їхня сукупність (визначальні параметри), що несуть достовірну інформацію про стан обладнання. Вибір визначальних параметрів виробляється шляхом досліджень з урахуванням наявного досвіду експлуатації, можливостей і точностних характеристик БО.

Вибір стратегій для кожної із систем БО і, отже, визначення загальної програми ТО обладнання, проводиться шляхом логічного аналізу.

При виборі стратегії і формуванні програми ТО БО варто враховувати також наступні положення:

при стратегії СТОРН ніяких планових робіт з ТО не призначається і виріб БО експлуатується до безпечної відмови;

при стратегії СТОП повинні застосовуватися ЗОК більш високої точності, чим при інших стратегіях.

На основі обраної стратегії виробляється (формується) програма ТО і Р БО. Програма ТО і Р – документ, який містить сукупність основних принципів і прийнятих рішень із застосування найбільш ефективних методів і рішень ТО і Р, реалізованих у конструкції об'єктів при їх проектуванні та виготовленні, а також експлуатаційно-технологічної документації з урахуванням заданих вимог і умов експлуатації.

При цьому виробляється визначення раціонального обсягу і періодичності робіт з ТО, що враховує вимоги по готовності й ефективності застосування АТ, особливості конструкції БО можливості засобів об'єктивного контролю і умов експлуатації літаків.

Висновок. Вибір стратегії ТО БО літаків містить у собі наступні основні етапи:

1. Обґрунтування доцільності впровадження програми ТО:

оцінка готовності й ефективності практичного застосування БО;

оцінка безвідмовності БО;

оцінка витрат на ТО БО;

оцінка ефективності організаційно-технічних заходів щодо підвищення готовності й ефективності практичного застосування БО, проведених у рамках прийнятої програми ТО БО.

2. Вибір раціональної стратегії ТО БО (окремих виробів і систем БО):

аналіз особливостей конструктивної побудови і характеру зміни технічного стану БО в процесі експлуатації;

аналіз особливостей експлуатації БО і впливу його відмов на безпеку польотів і ефективність практичного застосування літака;

оцінка ЕТХ БО і засобів його експлуатаційного контролю.

3. Розробка раціонального обсягу і періодичності робіт ТО БО:

складання переліку складових частин і виробів, систем БО, що обслуговуються по стратегіях СТОР, чи СТОП, СТОРН;

визначення висновків можливих відмов чи передвідмовних станів виробів (систем) БО;

визначення методів і засобів контролю станів виробів (систем) БО;

визначення періодичності контролю виробів (систем) БО з обліком потрібних і наявних витрат на ТО.

За результатами формування програми ТО БО розробляється перелік заходів, виконання яких необхідно для забезпечення її практичної реалізації.

До основного з них відносяться наступні:

розробка (доробка) експлуатаційної документації з урахуванням вимог сформованої програми ТО БО;

підготовка керівних документів для впровадження програми ТО БО;

підготовка ІТС експлуатуючих організацій і засобів ТО.

експлуатаційна оцінка можливості реалізації програми ТО на підконтрольних виробках (системах) БО і коректування експлуатаційної документації.

Список використаних джерел

1. *Артюшин Л.М., Зиятдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В.* Большие технические системы: проектирование и управление. – Х: Факт, 1997. – 400с.
2. *Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Харченко А.В.* Сложные технические и эргодические системы. – Х.: Факт, – 1997. – 240 с.
3. ДСТУ В-П 15.004:2019 Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки.
4. ВСТ 01.204.005-2018 (01) Інженерно-авіаційне забезпечення. Аналіз надійності військової авіаційної техніки. Терміни та визначення.
5. ВСТ 01.204.001-2019 (02) Інженерно-авіаційне забезпечення. Порядок переведення військової авіаційної техніки на експлуатацію за технічним станом. Терміни та визначення.
6. ВСТ 01.204.002-2015 (01) Інженерно-авіаційне забезпечення. Порядок переведення військової авіаційної техніки на експлуатацію за технічним станом. Основні положення.
7. Звіт про НДР “Дослідження можливості експлуатації літаків за технічним станом в межах призначеного ресурсу”. НЦ ВПС, 2002. – 632 с..
8. *Смирнов Н.Н., Ицкович А.А.* Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 277 с.