

УДК 629.7.083:629.7.03(045)

С. О. ДМИТРИЄВ, В. І. БУРЛАКОВ, О. В. ПОПОВ, Д. В. ПОПОВ

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУР ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПРОГРАМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТА АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Розглянуто питання формалізації процедур формування програм технічного обслуговування повітряних суден і авіаційних двигунів з метою розробки та впровадження прогресивних методів їх технічного обслуговування та відновлення при підтриманні льотної придатності повітряних суден. Наведено формалізовану багатокритеріальну модель прийняття індивідуального оптимального рішення та методичні основи формалізації процедур, що базуються на використанні апріорних інтервальних оцінок показників з наступним обчисленням апостеріорних оцінок відповідно зі збільшенням обсягу експлуатаційної інформації.

Ключові слова: повітряне судно, авіаційний двигун, програма технічного обслуговування.

Вступ

Процес збереження льотної придатності повітряних суден (ПС) та авіаційних двигунів (АД) на протязі встановленого терміну служби (ресурсу) передбачає: дотримання Експлуатантом правил та умов льотної і технічної експлуатації авіаційної техніки (АТ); виконання схваленої програми технічного обслуговування (ТО) та відновлення (ТОВ) ПС та АД з оцінкою її ефективності. Програма ТОВ необхідна для усіх сучасних ПС та АД й може включати неперервний та періодичний контроль працездатності, автоматизовані періодичні перевірки, регламенти усунення відмов і несправностей, доробки. Кожна складова програми характеризується цілою низкою параметрів, що входять до складу експлуатаційних характеристик, які задаються у вимогах, таких, як періодичність, обсяг та тривалість, стратегія й засоби проведення ТО та ін. Від слушності обґрунтування, підтвердження й прийняття рішення про значення цих параметрів залежать як рівень надійності ПС в процесі експлуатації, так й трудомісткість і вартість досягнення цього рівня.

1. Формулювання проблеми

Формування надійності виробів АТ являється складним процесом, що охоплює етапи проектування, виробництва та експлуатацію, які між собою взаємопов'язані й являються складовими елементами єдиної системи управління.

Виконання робіт на різних етапах супроводжуються прийняттям рішень, які мають специфічні особливості на кожному етапі й різну інформаційну

забезпеченість про властивості об'єктів експлуатації, що вимагає необхідність використовувати нові методологічні підходи при оптимізації рішень [1-2].

Зміст управління на етапі проектування складається із забезпечення збалансованих характеристик та властивостей виробів АТ по сукупності визначаючих ознак. В цьому випадку оптимізуються функціональна схема системи, надійність комплектуючих елементів, режими роботи, система контролю та експлуатаційна технологічність компонентів систем.

На етапі експлуатації, при заданих характеристиках й властивостях об'єктів експлуатації, управляючими впливами є: обсяг й періодичність проведення ТО, оптимізація яких проводиться з урахуванням впливу – навколишнього середовища, засобів контролю і діагностування, якими користуються, якості роботи та особливості організації робіт з ТО експлуатанта. Експлуатантам надається право, в рамках обмежень сертифікаційних вимог, самостійно вирішувати питання підтримання льотної придатності об'єкту та періодичності виконання робіт, враховуючи власні параметри та умови експлуатації. Періодичність виконання робіт з ТО встановлюється з урахуванням надійності і експлуатаційної технологічності об'єктів ТО.

Впровадження нових принципів ТОВ починається не з внесення змін у конструкцію, а з розробки програми ТОВ за допомоги всебічного аналізу конструкції, можливих відмов та визначення ефективних і прийнятних заходів для їх запобігання. Внесення змін у конструкцію, необхідність яких виявляється в процесі розробки програми, тільки підвищує рівень ефективності застосування нових принципів. Рішення задачі комплексної

оцінки технічного стану виробів з обліком усіх можливих методів контролю працездатності окремих конструктивних елементів ПС, вузлів, систем і двигунів у цілому вимагає розробки управлінських механізмів, які дозволять приймати рішення за умови невизначеності, неповноти й нечіткості вихідної інформації [3].

2. Рішення проблеми

Методи кластеризації нечітких ситуацій та методи розпізнавання поточної ситуації дозволяють будувати класифікаційні моделі прийняття керуючих рішень та знаходити краще рішення в конкретній ситуації, що склалася. Вимірювання визначається як процедура порівняння об'єктів за відповідними показниками (ознаками). Кожна альтернатива $v_i \in V$ (або $v^i \in V$) є набір параметрів [4-5]:

$$v_{(i)}^i = V^i(v_1^i, v_2^i, \dots, v_n^i), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де i – альтернатива;

n – вимір простору.

Оскільки ця шкала будується безвідносно до конкретних, реальних рішень, то її можна назвати еталоном – інструментом, з допомогою якого будуть потім зроблені оцінки реальних рішень.

Багатокритеріальна модель прийняття індивідуального оптимального рішення задається як векторний критерій у вигляді:

$$K(v) = \{k_1(v), k_2(v), \dots, k_m(v)\}. \quad (2)$$

Компонентами векторного критерію є скалярні функції, визначені на V і вимірюють якість рішення за визначеною раніше шкалою. У загальному випадку вони несумісні. Задача вибору оптимальної альтернативи на множині критеріїв формально зводиться до пошуку відображення $S[v(t)] = \{v \in V\}$, яке кожному вектору $v(t)$ ставить у відповідність дійсне число $W_i(t)$:

$$W(t) = v(t) = v[v_1(t), v_2(t), \dots, v_m(t)], \quad (3)$$

яке визначає ступінь переваги даного розв'язку.

Методика базується на використанні апріорних інтервальних оцінок показників з наступним обчисленням апостеріорних оцінок відповідно зі збільшенням обсягу інформації.

Таке послідовне рішення завдань залежно від точності й вірогідності доступної інформації лежить в основі адаптивного процесу керування конструктивними розробками, формування й коригування програм ТО виробів АТ.

Розробка і впровадження нових принципів ТО показує, що практична реалізація прогресивних методів, приводить до різкого збільшення обсягів інформації. Для оптимізації періодичності та обсягу проведення ТО виробів АТ необхідна інформація, яка надана в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідна інформація та джерела

№ з/п	Вихідна інформація	Позначення	Джерела інформації
1	2	3	4
1	<u>Директивна інформація</u>		
1.1	Вимоги безпеки і регулярності польотів ПС.	R_r	Вимоги ІКАО з безпеки польотів (по ситуаціям).
1.2	Плановані показники використання ПС.	P_n	Річний план польоту авіапідприємства. Стан парку ПС. План відходу ПС на ремонт і ТО.
1.3	Встановлені ресурси, терміни служби виробів, систем ПС.	T_p, T_{cl}	Нормативно-технічна документація.
2	<u>Властивості і особливості систем АТ</u>		
2.1	Структурно-функціональні схеми систем ПС	$СФМ$	Технічний опис систем ПС. Критерії граничного стану систем. Критерії відмов систем. Критерії оцінки ефективності роботи систем та її мінімальний рівень.
2.2	Перелік функцій, що виконує кожна система ПС.		
2.3	Критерії відмов систем		
2.4	Методи і ефективність контролю стану систем АТ.	D_k	Характеристика метрологічного забезпечення. Перелік засобів контролю. Перелік задач, що вирішує система діагностування. Вірогідність правильного діагностування. Вимоги до експлуатаційних способів забезпечення надійності АТ (технічна документація).

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
2.5	Перелік і трудомісткість робіт по забезпеченню працездатності систем в експлуатації.	T_i τ_i	Перелік видів робіт з ТОВ. Технологія і тривалість виконання робіт з ТОВ систем. Перелік необхідного обладнання тощо.
3 3.1	<u>Властивості і характеристики елементів систем АТ</u> Надійність елементів систем за властивостями: - безвідмовність; - ремонтпридатність; - довговічність; - збереженість.	$T_o; \omega(t)$ $T_b; P_b(t)$ $T_p; T_{сп}$ $T_{сг}; T_{сн}$	Вимоги до надійності – нормативно-технічні і конструкторські документи. Аналіз результатів експлуатаційних спостережень:
3.2	Види і трудомісткості робіт з ТО елементів систем.	τ_{ij} (год.) T_{ij} (люд. год.)	Перелік робіт з ТО вузлів, агрегатів.
3.3	Складність робіт з ТО.		Середній час і трудомісткість ТОВ елементів систем.
3.4	Засоби механізації при ТО виробів.		Перелік засобів механізації (технічна документація).
4 4.1 4.2 4.3 4.4	<u>Економічна інформація</u> Вартість виробів АТ. Вартість робіт з ТО. Тарифні ставки інженерно-технічного складу. Витрати на утримання допоміжного персоналу.	T_T	Трудомісткість робіт з видів ТО. Основні положення з нормування праці.
5 5.1 5.2 5.3	<u>Додаткова інформація</u> Умови зовнішнього середовища. Обмеження на реалізацію робіт з ТО. Класифікація помилок інженерно-технічного складу.	T, c $V_b; \rho_n$	Дані метеослужби (відносна вологість, атмосферний тиск, забруднювання середовища тощо). Технологія робіт з ТО, взаємозв'язок послідовності виконання робіт тощо. Результати аналізу робіт інженерно-технічного складу (протоколи якості).

Для формування короткої комплексної характеристики експлуатаційних властивостей виробу АТ виділено «n» ознак. Кожній ознаці поставлено у відповідність «m» станів. Комплексна характеристика експлуатаційних властивостей виробу записується в певній послідовності, створюючи впорядкований кортеж:

$$V_k = \{x_1^i, x_2^i, \dots, x_j^i, \dots, x_n^i\}, \quad (4)$$

де $i_j \left(\begin{matrix} j = 1 \div n \\ i = 1 \div m \end{matrix} \right)$ – множина станів j-ої ознаки.

На основі класифікації експлуатаційних властивостей за ознаками та станами визначають кортеж для кожного елемента складної системи АТ (табл. 2).

Жодна з альтернатив, яка не входить в множину Парето, не буде визнана оптимальною ні за яким методом. І коли існує деяка міра для порівняння альтернатив, установлення системи переваг між ними і, отже, вибору більш переважної альтернативи, яка і буде найкращим шуканим рішенням.

Таблиця 2

Класифікації експлуатаційних властивостей за ознаками та станами

Код позначення	Домінуючий фактор	Напрацювання елемента на відмову, год.	Кратність резервування функцій	Ефективність засобів та методів оцінки стану	Середній час контролю працездатності елемента, хв.	Середній час відновлення елемента, що відмовив, год.
1	факт відмови	менше 1500	0 (резерву немає)	0 – 0,2	понад 60	> 2
2	відмова приводить до інциденту	1500 ÷ 7500	$\frac{1}{2} \div \frac{3}{2}$	0,21 – 0,4	30 ÷ 60	1 ÷ 2
3	відмова без наслідків	7501 ÷ 33500	$\frac{3}{2} \div \frac{5}{2}$	0,41 – 0,6	15 ÷ 30	0,5 ÷ 1
4	-	33501 ÷ 165000	$\frac{5}{2} \div \frac{7}{2}$	0,61 – 0,8	до 15	до 0,5
5	-	165001 ÷ 840000	$\frac{7}{2} \div \frac{9}{2}$	0,8 – 1,0	-	-
6	-	840001 і більше	понад $\frac{9}{2}$	-	-	-

На основі порівняння кортежу елементу системи з базовими «Б» експлуатаційними характеристиками (табл. 3) будуть такі альтернативи оптимальні за Парето, які задовольнятимуть усім значенням ознак кортежу. Керування процесом ТО відбувається на основі впровадження управляючих впливів (табл. 4), які базуються на оцінці ефекту від експлуатації ПС при можливих змінюваннях властивостей об'єктів експлуатації й визначається виразом:

$$e = f_e \sum [x_j^i - B_j^i], \quad (5)$$

де $j = 1 \div n$ - множина станів j -ої ознаки.

Таблиця 3
Порівняння кортежу елемента з базовими експлуатаційними властивостями

Базові значення кортежу	Форма ТО
1 2.2.2.2.2.	оперативні види ТО
1 3.3.3.2.2.	Ф 1
1 4.4.3.2.3.	Ф 2
1 5.4.4.3.3.	Ф 3
1 6.3.5.3.3.	Ф 3
2 2.2.2.3.4.	оперативні види ТО
2 3.2.3.3.4.	Ф 1
2 2.3.3.3.4.	Ф 1
2 3.4.4.3.3.	Ф 2
2 4.2.4.2.2.	Ф 2
2 5.3.4.2.2.	Ф 3
2 4.4.4.2.2.	Ф 3
3 1.2.1.4.4.	оперативні види ТО
3 2.3.3.3.3.	Ф 1
3 3.2.4.3.3.	Ф 1
3 4.2.4.4.4.	Ф 2
3 4.3.4.3.3.	Ф 3
3 5.2.3.3.3.	Ф 3

На основі порівняння й оцінки ступеню відхилення характеристик виробів від базових векторів вирішуються задачі управління процесом ТО.

Висновки

Із дослідження витікає, що для порівняльного аналізу альтернатив між собою можна застосовувати структуру і функції векторних критеріїв. Щоб визначити ступені порівняння множини базових альтернатив та для встановлення системи переваг між ними і прийняття найкращого, тобто оптимального, рішення пропонується використовувати множину ефективних оптимальних рішень за Парето.

Таким чином, метою розробки є максимальна гармонізація методів та технологій формування програм ТОВ ПС та АД, що проводяться за умовою

існування ефективних процедур формування еталонних класів ситуацій, що дає можливість будувати ефективні схеми прийняття рішень. Вони засновані на розрахунку для даної конкретної ситуації її ступені належності кожному з еталонних класів, з наступним вибором рішення, що відповідає тому класу або тій еталонній ситуації, до якої дана ситуація належить в найбільшій ступені.

Таблиця 4
Керуючі впливи на процеси ТО

Експлуатаційні властивості об'єктів експлуатації	Керуючі впливи
1. Надійність виробу АТ	- збільшення значень напружень на відмову за рахунок вибору менш навантажених режимів в експлуатації; - вибір матеріалів об'єктів експлуатації; - конструктивне вдосконалення виробів; - змінення принципів роботи виробів
2. Кратність резервування елементів систем	- збільшення кратності резервування елементів системи, змінення функціональних схем систем АТ
3. Ефективність засобів та методів оцінки стану виробів	Впровадження більш ефективних методів діагностування виробів АТ: - зменшення помилок I та II роду; - впровадження сучасних методів обробки інформації про стан виробів АТ; - прогнозування змінювання технічного стану виробів в процесі експлуатації; - забезпечення експлуатаційної технологічності об'єктів контролю; - впровадження наземно-бортових та бортових систем реєстрації параметрів; - впровадження сучасних методів обробки польотної інформації; - впровадження сучасних методів пошуку відмов; Удосконалення доступності та взаємозамінності елементів систем; - стандартизація та уніфікація виробів АТ та інш.

Література

1. Burlakov, V. I. Situation control of complex object in condition with fuzzy source information [Text] / V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov // Aviation in the 21-st century, safety in aviation and space technologies : materials of the 4th world congress, Kyiv, September 21-23, 2010. – Vol. 1. – Kyiv, 2010. – P. 11.19 – 11.22.
2. Бурлаков, В. І. Методологічні аспекти формування логістичної підтримки процесів технічної експлуатації авіаційної техніки [Текст] / В. І. Бурлаков, О. В. Попов, Д. В. Попов // АВІА-11 : матеріали X Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 19-21 квітня 2011 р. – Т.2. – Київ, 2011. – С. 15.5 – 15.8.
3. Burlakov, V. I. Management processes of technical operation of complex object in condition with

fuzzy source information [Text] / V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov // Aviation in the 21-st century, safety in aviation and space technologies: materials of the 5th world congress, Kyiv, September 25-27, 2012. – Vol. 1. – Kyiv, 2012. – P. 1.1.15 – 1.1.18.

4. Методика оптимізації режимів та управління процесами технічного обслуговування повітряних суден [Текст] / В. І. Бурлаков, О. В. Попов, Д. В. Попов, Г. О. Арістов // АВІА-13 : матеріали 11 Міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 21-23 трав. 2013 р. – Т. 3. – Київ, 2013. – С. 17.1 – 17.4.

5. Формирование программ технического обслуживания авиационных двигателей [Текст] / С. А. Дмитриев, В. И. Бурлаков, А. В. Попов, Д. В. Попов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 7(104). – С. 190 – 194.

Поступила в редакцію 12.06.2014, рассмотрена на редколлегии 16.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедри технологій аеропортів О. А. Тамаргазін, Національний авіаційний університет, Київ.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

С. А. Дмитриев, В. И. Бурлаков, А. В. Попов, Д. В. Попов

Рассмотрены вопросы формализации процедур формирования программ технического обслуживания воздушных судов и авиационных двигателей с целью разработки и внедрения прогрессивных методов их технического обслуживания и восстановления при поддержании летной годности воздушных судов. Приведены формализованная многокритериальная модель принятия индивидуального оптимального решения и методические основы формализации процедур, основанные на использовании априорных интервальных оценок по показателям с последующим вычислением апостериорных оценок в соответствии с увеличением объема эксплуатационной информации

Ключевые слова: воздушное судно, авиационный двигатель, программа технического обслуживания.

THE PROCEDURES FORMALIZE AND IDENTIFY THE OPTIMAL MAINTENANCE PROGRAM AIRCRAFT AND AIRCRAFT ENGINES

S. O. Dmytriev, V. I. Burlakov, O. V. Popov, D. V. Popov

In this article are consider questions formalization the procedures of formation programs in aircraft and aircraft engines maintenance for the development and implementation of advanced methods of maintenance and recovery while maintaining the airworthiness of the aircraft. Are given formalized multicriteria decision model individual optimal solutions and methodical bases formalization the procedures based on the use of a priori interval evaluations in terms of computation followed by a posteriori estimates in accordance with the increase of the volume of operations information.

Keywords: aircraft, aircraft engine, the maintenance program.

Дмитрієв Сергій Олексійович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. збереження льотної придатності авіаційної техніки факультету літальних апаратів, Аерокосмічний інститут Національного авіаційного університету, Київ, e-mail: sad@nau.edu.ua.

Бурлаков Вадим Іванович – канд. техн. наук, проф., проф. кафедри збереження льотної придатності авіаційної техніки факультету літальних апаратів, Аерокосмічний інститут Національного авіаційного університету, e-mail: zlp@nau.edu.ua.

Попов Олександр Вікторович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. збереження льотної придатності авіаційної техніки факультету літальних апаратів Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету, e-mail: popche@ukr.net.

Попов Дмитро Вікторович – асистент кафедри збереження льотної придатності авіаційної техніки факультету літальних апаратів, Аерокосмічний інститут Національного авіаційного університету, e-mail: d_emo_n@mail.ru.