

УДК 358.4:656.7

М.М. Яцко

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Аналіз процесу технічної експлуатації об'єктів авіаційної техніки підтверджує необхідність формалізації даного процесу. Для вирішення поставленого наукового завдання в статті викладено формалізоване представлення задачі оцінки та прогнозування показників техніко-економічної ефективності об'єктів авіаційної техніки, формалізація процесу технічної експлуатації одиничного об'єкту авіаційної техніки та формалізоване представлення літального апарату як сукупності функціональних систем.

Ключові слова: формалізація процесу, процес технічної експлуатації, об'єкт авіаційної техніки.

Вступ

Постановка завдань. Вирішення поставленого наукового завдання полягає у розробці методики обґрунтування раціонального складу системи відновлення бортового обладнання, що вимагає проведення відповідного оцінювання та прогнозування зміни показників техніко-економічної ефективності експлуатації ЛА з урахуванням можливого впровадження в експлуатацію сучасних уніфікованих засобів контролю та діагностування, а також потребує розробки відповідної математичної моделі (ММ) процесу технічної експлуатації об'єктів АТ (авіаційної техніки), так як впровадження різних варіантів організації відновлення пов'язано з ризиком матеріальних втрат. У якості об'єкта АТ в дослідженні розуміється конструктивно-знімна одиниця (агрегат, блок, модуль) бортового обладнання ЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи роботи щодо розробки методик обґрунтування раціонального складу складних систем таких вчених, як Каштанов В.А., Шнурков П.В., Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко І.Н., Жулев В.І., Иванов В.С., Петренко В.Г. та ін. визнано необхідність формалізації процесу технічної експлуатації літальних апаратів. Даний процес формалізації вимагає проведення відповідного оцінювання та прогнозування зміни великої кількості показників техніко-економічної ефективності експлуатації засобів транспорту, що потребує впровадження сучасних уніфікованих засобів контролю та діагностування. Питання щодо визначення чітких вимог щодо формалізації процесу технічної експлуатації (ПТЕ) літальних апаратів є не достатньо досліджене.

Метою даної статті є вирішення завдання щодо формалізації процесу технічної експлуатації літальних апаратів (ЛА).

Основна частина

Постановка задачі. Формалізоване представлення задачі оцінки та прогнозування показників техніко-економічної ефективності при впровадженні

різних варіантів організації відновлення бортового обладнання ЛА повинне відображати взаємозв'язки основних елементів процесу вироблення рішення та послідовність формування часткових задач [1, 2]:

$$\langle U, \Lambda, H, G, Y, \Psi_{\text{ОВ}}, W, K, \mathfrak{Z}, \Theta \rangle,$$

де U – множина варіантів організації відновлення; Λ – множина значень визначених Λ_F та невизначених Λ_E факторів, що впливають на ПТЕ об'єктів АТ; H – модель, тобто відображення, що ставить у відповідність множині варіантів організації відновлення U і факторів Λ множини результатів $Y(G)$; G – множина можливих результатів ПТЕ об'єктів АТ; Y – вектор характеристик результату; $\Psi_{\text{ОВ}}$ – оператор відповідності "результат-показник"; K – критерій ефективності; W – показник техніко-економічної ефективності; \mathfrak{Z} – модель, що приймає рішення (ОПР) на елементах множини $V = \{U, \Lambda, G, Y, W, K\}$; Θ – інформація про ПТЕ об'єктів АТ, що є в наявності.

Підтримання заданого рівня надійності та готовності до застосування ЛА вимагає проведення різних видів робіт та ремонтів, що поєднує в собі прийнята система технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р). Послідовна зміна етапів використання за призначенням, технічного обслуговування, ремонту, зберігання та ін., очікування влучення в кожний із вказаних етапів і розкриває зміст експлуатації об'єктів АТ. Формальне представлення ПТЕ літального апарату у вигляді зміни станів процесу технічної експлуатації відповідно до прийнятої стратегії ТО і Р та стратегії експлуатації, що їй відповідає, показано на рис. 1.

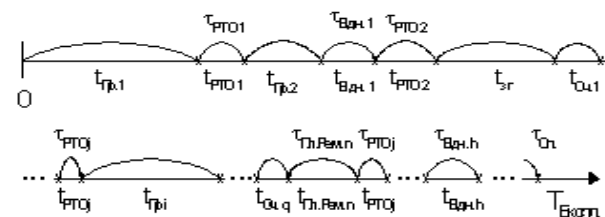


Рис. 1. Схематичне представлення процесу технічної експлуатації ЛА

Позначення: $t_{\text{Пр.}i}$ – використання за призначенням об'єкта АТ у складі ФС; $t_{\text{РТО}j}$ – витрати часу на проведення різних форм регламентного технічного обслуговування; $t_{\text{Пл.Рем.}n}$ – витрати часу на проведення планових ремонтів ЛА; $t_{\text{Відн.}h}$ – витрати часу на проведення позапланових ремонтів ЛА; $t_{3.r}$ – час знаходження ЛА на збереженні (резерві); $t_{\text{Оч.}q}$ – час очікування обслуговування (ремонту) об'єкта АТ у справному або несправному стані; $\tau_{\text{РТО.}j}$ – моменти проведення регламентного технічного обслуговування ЛА; $\tau_{\text{Пл.Рем.}n}$ – моменти проведення планових ремонтів ЛА; $\tau_{\text{Відн.}h}$ – моменти проведення позапланових відновлювальних і ремонтних робіт на ЛА; $\tau_{\text{Сп.}}$ – моменти списання ЛА з експлуатації.

Структура та характер процесу ТО і Р, а відповідно й простір станів процесу технічної експлуатації визначаються прийнятою стратегією ТО і Р, яка в загальному випадку представляє собою сукупність принципів та правил, що забезпечують задане управління процесом технічної експлуатації [3].

З огляду на формальний опис процесу експлуатації об'єкту АТ його необхідно характеризувати двома взаємопов'язаними процесами: об'єктивним процесом зміни технічного стану та суб'єктивним процесом його технічної експлуатації.

Формалізація процесу технічної експлуатації одиничного об'єкту авіаційної техніки. Розглянемо одиничний літак як елемент парку однотипних літальних апаратів (об'єктів АТ) та формалізуємо його як складний технічний об'єкт експлуатації з кінцевою множиною Ω технічних станів ω_k , зміна яких за часом формує стохастичний процес $\omega(t)$ [4]. Об'єднання відповідних станів ω_k утворюють підмножини справних, несправних, працездатних та непрацездатних станів ЛА.

З метою своєчасного вжиття заходів щодо запобігання відмов, їх своєчасної локалізації та затримки процесів зносу, основні функціональні системи ЛА періодично контролюються в терміни та строки, що визначені регламентом технічного обслуговування для кожного із типів АТ. Для основних функціональних систем ЛА, які є складними резервованими системами, технічний стан може бути визначений через кількість конструктивно-знімна одиниця (КЗО), що відмовили. Якщо позначити вектор станів кожної КЗО (агрегату, блока) через

$$\omega_k(t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } k\text{-та КЗО справна в момент часу } t; \\ 1, & \text{якщо } k\text{-та КЗО несправна в момент часу } t, \end{cases}$$

то технічний стан об'єкта АТ можна представити як

$$\omega(t) = \{\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_i(t), \dots, \omega_m(t)\},$$

де m – загальна кількість КЗО функціональних систем ЛА, що обслуговується.

Множина технічних станів функціональної системи ЛА визначається не тільки кількістю складових агрегатів, блоків, вузлів, але й їх функціональною залежністю, так як відмови окремих елементів схеми можуть приводити до виходу з ладу інших.

Враховуючи те, що функціональні системи ЛА складаються з кінцевої кількості елементів і можуть знаходитись в кінцевій множині станів, що розрізняються технічним станом елементів, а також операціями контролю, відновлення працездатності та ін., ПТЕ об'єктів АТ можна описати кінцевою множиною E станів e_i , що утворені шляхом розбивки $D \subseteq E$, де $i \in I$, а елементи з I ідентифіковані елементами розбивки D . Припустимо також, що $e(t)$ є деяким відображенням процесу $\omega(t) : e_i(\Omega) : \Omega \rightarrow \omega_k(E)$.

Виходячи з того, що на введений в той чи інший стан ПТЕ об'єкт АТ, діють зовнішні впливи в цьому стані, тому $\omega_k(E) : E \rightarrow e_i(\Omega)$. З погляду на те, що об'єкт АТ характеризується кінцевою множиною станів $n+1$: $E = \{e_0, e_1, \dots, e_i, \dots, e_n\}$, де e_0 – стан повної справності об'єкту; e_n – стан повної відмови, можемо виділити підмножини станів, що відповідають різним рівням ефективності роботи об'єкта АТ. При цьому $e_0 \in A_1, e_n \in A_3$, де A_1 – підмножина станів, що відповідає рівню максимальної ефективності роботи; A_3 – підмножина станів повної відмови, яка рівнозначна мінімальному рівню ефективності. Множина працездатних станів об'єкта $e_i \in A_2, i = 1, 2, \dots, n-2, n-1$.

Поряд з цим формальне представлення процесу технічної експлуатації одиничного об'єкта АТ потребує визначення таких подій:

подія відмови об'єкта АТ протягом польоту у випадковий момент нальоту ξ за умови його безперервного функціонування в польоті (наробіток на землі не враховується). Випадкова величина наробітку об'єкта до відмови θ буде дорівнювати випадковому нальоту літака ξ ;

подія виявлення відмови в поточному або наступних польотах при випадковому нальоті літака $\xi + \eta$, де η – випадкова величина від моменту виникнення відмови до моменту її виявлення або самостійного прояву в повітрі;

подія відновлення об'єкта АТ співпадає з подією її виявлення протягом польоту або на землі внаслідок припущення про миттєве відновлення;

подія виявлення відмови протягом того польоту, в якому вона виникла, розуміється як відмова, що може бути виявлена протягом польоту за допомогою бортових засобів контролю (БЗК), або пілотом за прямими або побічними ознаками (відсутність зв'язку, зникнення даних з індикаторів даного об'єкта бортового обладнання або їх явна невідповідність та ін.).

У загальному випадку час знаходження об'єкту АТ протягом польоту в стані прихованої відмови (з моменту виникнення відмови до моменту її виявлення) залежить не тільки від того, як розподілена випадкова величина η_i , але й від моменту проведення наземного контролю технічного стану об'єкта експлуатації.

З урахуванням періодичності контролю технічного стану об'єкта експлуатації через кожні x одиниць часу нальоту ЛА, $x = \text{const}$, відмова, що виникла у випадковий момент часу ξ_i , розподілений за законом $F_\xi(t)$, виявляється або протягом польоту через випадковий час η_i , розподілений за законом $F_\eta(t)$, або під час проведення періодичного наземного контролю технічного стану (ТС) об'єкта експлуатації. При чому розподіл часу "самовиявлення" відмови $F_\eta(t)$ є властивістю складного технічного об'єкта, а подія виявлення відмови залежить від досконалості засобів контролю, що застосовуються на різних етапах експлуатації. Тому процедура моделювання ПТЕ повинна враховувати той факт, що якщо при черговому контролі ТС в момент $t_k = (k+1) \cdot x, k = 0, 1, 2, \dots, N$ встановлено, що об'єкт контролю знаходиться в стані $e_i, e_i \in A_1 \cup A_2, i = 0, 1, 2, \dots, l-1$ (в стані повної справності, або неможливості виявлення відмови несправного але працездатного об'єкта), то рішення про будь-яку управляючу дію не приймається до наступного контролю працездатності через час x ; якщо в $e_i, e_i \in A_2, i = 1, l+1, \dots, n-2, n-1$, або в e_n – проводяться роботи з відновлення, які переводять об'єкт експлуатації до стану e_0 .

Подія виявлення відмови супроводжується відновленням, після чого процес повторюється (рис. 2).

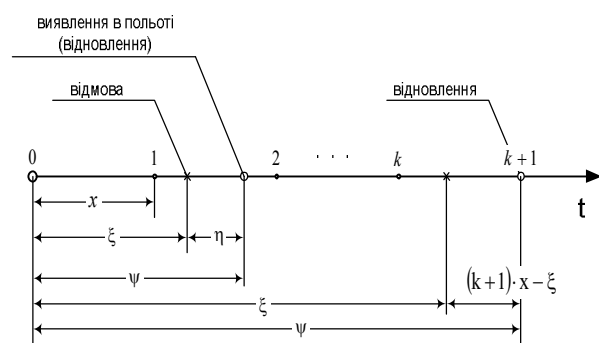


Рис. 2. Випадковий час знаходження об'єкта у стані прихованої відмови

Тривалість інтервалу між двома послідовними моментами регенерації (моменти повного відновлення) складає величину:

$$\psi^{(i)} = \begin{cases} (k+1) \cdot x, & k \cdot x < \xi \leq (k+1) \cdot x; \\ \eta \geq (k+1) \cdot x - \xi; & k = 0, 1, \dots; \\ \xi + \eta, & 0 \leq \eta < (k+1) \cdot x - \xi. \end{cases}$$

Послідовність $\{\psi^{(i)}\}, \forall i = 1, 2, 3, \dots$ утворює рекурентний процес відновлення, тобто процес технічної експлуатації, що розглядається, є регенеруючим випадковим процесом [6]. Виходячи з цього, основними припущеннями для формалізованого опису процесу технічної експлуатації одиничного об'єкту АТ є: 1) дискретна зміна станів процесу ПТЕ об'єкту АТ; 2) стохастичність еволюції об'єктів АТ за станами ПТЕ; 3) стохастичний процес еволюції об'єкта за часом належить до класу регенеруючих випадкових процесів. Перше припущення свідчить про те, що в кожному із станів ПТЕ об'єкт перебуває кінцевий час θ , після чого стрибком миттєво переходить в інший стан. Друге припущення передбачає випадковий характер зміни станів процесу технічного обслуговування та випадковість часу перебування в цих станах. Припущення про стохастичність еволюції об'єкта АТ в процесі його ТЕ не виключає деякої сукупності детермінованих переходів і періодів перебування в станах ПТЕ. Третє припущення свідчить про те, що ПТЕ за кінцевий час з імовірністю одиниця влучить в деякий стан, в якому вся передісторія не впливає на його подальший розвиток.

Необхідно відмітити, що у приведеному вище формалізованому описі ПТЕ не враховуються витрати календарного часу на виконання операцій з контролю ТС та відновлення об'єкту експлуатації. З іншого боку, простої ЛА для виконання робіт з контролю ТС та усунення несправностей суттєво впливають на характеристики готовності АТ. Це приводить до необхідності врахування під час розроблення математичної моделі незалежної змінної – календарного часу експлуатації, а сукупність можливих станів об'єкту розширити станами перебування об'єкта на операціях наземного контролю та його відновлення.

Відповідно до прийнятого формалізованого опису ПТЕ одиничного об'єкту АТ як елемента парку однотипних ЛА, що має вигляд регенеруючого процесу з дискретною множиною можливих станів експлуатації $E = \{e_0, e_1, \dots, e_i, \dots, e_n\}$, де n – загальна кількість станів ПТЕ, представимо його у вигляді геометричної схеми – стохастичного графа станів і переходів ПТЕ об'єкту АТ (рис. 3).

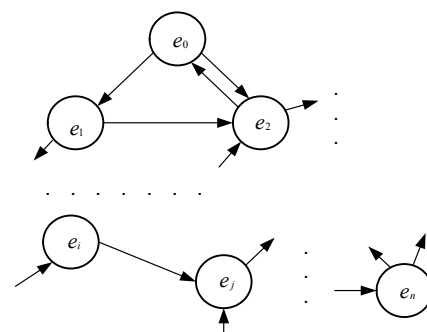


Рис. 3. Стохастичний граф станів та переходів ПТЕ одиничного об'єкта АТ

При цьому можливі стани процесу технічної експлуатації будемо зображати у вигляді кружків, а стрілками напрямки переходів з одного стану до іншого. У цьому випадку граф станів та переходів геометрично відображає можливі в межах моделі з урахуванням прийнятих припущень стани ПТЕ об'єкта АТ, що досліджується та можливі переходи із стану в стан. Схематичне зображення графу станів та переходів досліджуваного ПТЕ об'єктів АТ дає підстави для його розгляду як випадкового процесу з дискретними станами. Реальний процес технічної експлуатації СТС різних типів характеризується переходом з одного стану ПТЕ до іншого в будь-який випадковий момент часу, і це також вимагає від процесу, що моделюється, розглядати його як випадковий процес з безперервним часом.

Формалізоване представлення літального апарату як сукупності функціональних систем. Для адекватного описування процесу технічної експлуатації ЛА як складної технічної системи представимо його як виріб, що складається з множини комплектуючих виробів (агрегатів, блоків вузлів, що не підлягають подальшій деталізації) та з'єднаних за надійністю (безвідмовністю) послідовно. Факт виникнення відмови будь-якого з них переводить ЛА до непрацездатного стану.

За умови відсутності або обмеженого обсягу обмінного фонду агрегатів імовірність безвідмовної роботи ЛА визначається як [5]:

$$P_{\text{ЛА}}(t) = \prod_{k=1}^k P_k(t); \quad Q_{\text{ЛА}}(t) = 1 - P_{\text{ЛА}}(t); \quad N_{\text{офк}}(t) \ll n_k(t),$$

де $P_{\text{ЛА}}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи ЛА; $P_k(t)$ – імовірність безвідмовної роботи k -го комплектуючого виробу; $Q_{\text{ЛА}}(t)$ – імовірність відмови ЛА; $N_{\text{офк}}(t)$ – кількість об'єктів k -го типу в обмінному фонді авіаційної частини; $n_k(t)$ – кількість відмов об'єкту k -го типу за період експлуатації, що розглядається.

Представлення літального апарату як системи, що є сукупністю послідовних підсистем, дає можливість для кожної із них знайти свій показник ефективності. Виходячи з цього, показник ефективності

ЛА представляється як добуток показників ефективності цих складових підсистем [6], а літак можна формалізувати як систему з мультиплікативним коефіцієнтом ефективності і згідно з обраними показниками ефективності визначити стаціонарний коефіцієнт готовності літального апарату $K_{\text{ГЛА}}$ як

$$K_{\text{ГЛА}} = \prod_{j=1}^k K_{\text{Г}j}, \quad \text{де } K_{\text{Г}j} - \text{стаціонарний коефіцієнт готовності } j\text{-ї підсистеми.}$$

Висновки

1. На підставі проведеного аналізу особливостей процесу технічної експлуатації (ПТЕ) літальних апаратів і мети дослідження, сформульовано вимоги щодо формалізованого представлення задачі оцінки та прогнозування показників техніко-економічної ефективності об'єктів авіаційної техніки.

2. Для чіткої та точної формалізації процесу технічної експлуатації виконано формалізацію ПТЕ одиничного об'єкту авіаційної техніки та формалізоване представлення ЛА як сукупності функціональних систем.

Список літератури

1. Капитанов В.А. Оптимальные процедуры проверки при произвольном распределении времени индикации отказов / В.А. Капитанов, П.В. Шнурков // В кн.: Основные вопросы теории и практики надежности. – М.: Сов. радио, 1980. – С. 155-171.
2. Бусленко Н.П. Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашиников, И.Н. Коваленко. – М.: Советское радио, 1973. – 440 с.
3. Кокс Д. Теория восстановления / Д. Кокс, Д. Смит. – М.: Советское радио, 1967. – 300 с.
4. Кориунов Ю.М. Математические основы кибернетики: учеб. пособ. для вузов / Ю.М. Кориунов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
5. Королюк В.С. Стохастичні моделі систем: навч. посіб. / В.С. Королюк. – К.: Либідь, 1993. – 136 с.
6. Жулев В.И. Безопасность полетов летательных аппаратов: (Теория и анализ) / В.И. Жулев, В.С. Иванов. – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.

Надійшла до редколегії 13.08.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш, Національний авіаційний університет, Київ.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

М.Н. Яцко

Анализ процесса технической эксплуатации объектов авиационной техники подтверждает необходимость формализации данного процесса. Для решения поставленной научной задачи в статье изложены формализованное представление задачи оценки и прогнозирования показателей технико-экономической эффективности объектов авиационной техники, формализация процесса технической эксплуатации единичного объекта авиационной техники и формализованное представление летательного аппарата как совокупности функциональных систем.

Ключевые слова: формализация процесса, процесс технической эксплуатации, объект авиационной техники.

FORMATION OF REQUIREMENTS FOR MATHEMATICAL MODEL OF TECHNICAL OPERATION OF AIRCRAFT

M.N. Yatsko

Analysis of the process of technical operation of aviation technique confirms the needing to formalize this process. To solve this problem in a scientific article presents formalized representation of the problem of estimating and forecasting of technical and economic efficiency of aviation engineering facilities, formalization of technical operation of a single object aviation technique and formalized representation of aircraft as a summary of functional systems.

Keywords: formalization of the process, the process of technical operation, the object of aviation technique.