

*Р.М. Салімов, к.т.н., І.В. Морозова, к.т.н.
В.О. Максимов, к.т.н., А.О. Плугувий,
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Модель формування поступових відмов виробів АТ та контролю їх стану на основі використання інформації датчиків Інтернету речей (IoT)

У статті розглядаються формування імітаційних моделей, що враховують динаміку показників процесу експлуатації парку виробів з урахуванням використання різних стратегій експлуатації на основі використання інформації датчиків IoT.

Метою даного дослідження є моделювання кількості відмов та час знаходження елемента в непрацездатному стані, варіюючи довжиною періоду роботи датчиків IoT t_k , інтенсивністю відмов λ_i та ймовірністю виявлення відмови P_k , тобто отримання функції:

$$T_{ож} = f(t_k, \lambda, P_k), \tag{1}$$

та перевірка коректності її застосування для практичних розрахунків.

Контроль проводиться за період роботи датчиків IoT t_k з ймовірністю виявлення відмови P_k . Відмовлені елементи, виявлені в результаті контролю, відновлюються, невиявлені очікують у стані відмови до наступного контролю, і процес контролю повторюється до наступної форми ТО T_{MP} , коли виріб замінюється (відновлюється).

При цьому середній час знаходження елемента на об'єкті в непрацездатному стані дорівнює першому періоду:

$$t_{BP}^{\Delta \tau_1} = (\sum_{i=1}^{Z_1} t_{ож1}) / Z_1. \tag{2}$$

Враховуючи пропуск частини відмов контролем, їхній середній час перебування у несправному стані дорівнюватиме:

$$t_{BP}^{\Delta \tau_1} = (\sum_{i=1}^{Z_1} t_{ож1}) / Z_1. \tag{3}$$

Для n-ного контролю ця формула набуде вигляду:

$$t_{ож}^{\Delta \tau n} = \frac{\sum_{i=1}^{Z_2} t_{ож} + \sum_{i=1}^{Z_{n+1}} t_{ож}^{\Delta \tau n}}{Z_n + Z_{n-1}^n}. \tag{4}$$

В результаті розрахунку визначаємо:

$T_{ож}$ - середній час знаходження несправного елемента на об'єкті, що працює;

відносний середній час знаходження несправного елемента на об'єкті, що працює:

$$T_{ож} = T_{ож} / \Delta\tau_k ; \quad (5)$$

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{T_{ож}} = \varepsilon \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{ож\ i} - T_{ож})^2 ; \quad (6)$$

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{T_{ож}} \% = \frac{\sigma_{T_{ож}}}{T_{ож}} 100\% \quad (7)$$

Для практичного використання цієї імітаційної моделі з урахуванням контролю та відновлення в процесі експлуатації необхідно задати:

- інтенсивність виникнення відмов елементів λ ;
- інтенсивність виникнення відмов елементів λ ;
- час до наступної форми ТО T_{MP} , рахунок якого ведемо в годиннику використання за призначенням;
- кількість досліджуваних елементів N_L , тобто. кількістю однакових елементів, які працюють на парку виробів;
- періодичність контролю $\Delta\tau_k$;
- достовірність контролю P_k ;
- кількість випробувань N_i для визначення середнього часу від моменту виникнення відмови до виявлення під час контролю за ресурс виробу T_{MP} .

Для отримання випадкового часу виникнення функціональної відмови i -того елемента з експлуатованих N_L використовуємо випадкові числа і наступну властивість дистрибуанти рівномірного розподілу:

$$t = - \lambda \log(1-n), \quad (8)$$

$$F_x(x) = \int_1^x f(\theta) d\theta, \quad (9)$$

где $F_x(x)$ - дистрибуанта випадкової величини;

$f(\theta)$ - функція щільності випадкової величини.

При цьому визначаємо випадковий час відмов t_i та до часу t_i додаємо поправку ΔT , яка враховує, що з початку експлуатації виробів відмова виникла за час $t_i = t_i + \Delta T$. Цим способом вдається уникнути помилки, що часто допускається, коли вважають, що при контролі і відновленні відновлюються всі елементи підлягають контролю.

Для виробів АТ, технічний стан яких характеризується зміною визначального (діагностичного) параметра, при виборі оптимального режиму роботи датчиків Іот вирішуються наступні основні завдання:

- визначення оптимальної періодичності контрольних операцій Δt при заданій величині попереджувального допуску ΔY ;
- визначення оптимального попереджувального допуску на параметр при заданій періодичності виконання контрольних операцій;

- визначення оптимального поєднання періодичності виконання контрольних операцій та попереджувального допуску на визначальний параметр.

Реалізація перерахованих завдань здійснюється за допомогою імітаційних моделей, що враховують динаміку показників процесу експлуатації парку виробів з урахуванням використання різних стратегій експлуатації.

Характер зміни визначального параметра з напрацювання, побудованого у відносних координатах (рис.1). На рис.1 по осі ординат відкладено значення

$Y = Y_{TEK} / Y_{TEK_{дон}}$. Значення $Y = 1.0$ відповідає значенню визначального параметра $Y = Y_{дон}^{max}$. По осі абсцис відкладено значення відносного напрацювання $T = T_{TEK} / T_{max}$. Значення $T = 1.0$ відповідає напрацюванню досягнення граничного стану виробів АТ за визначального параметра.

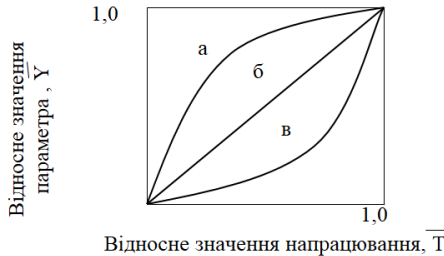


Рис.1 Варіанти можливої зміни визначального параметра з напрацювання

Визначення оптимальних поєднань показників режиму ТО ($\Delta Y_{дон} = const$ и $\Delta t = const$) проводиться за допомогою номограм (рис.2, рис.3), що враховують різні співвідношення економічних характеристик процесів ТО і розрахованих на основі імітаційних моделей. Використовуються такі показники:

- вартість операції контролю технічного стану виробу C_D ;

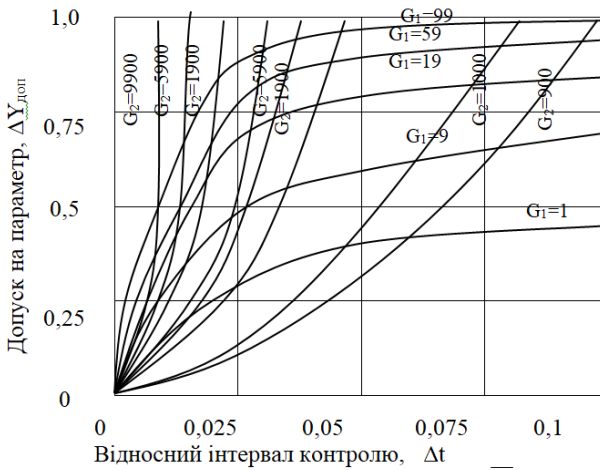


Рис.2. Номограма визначення оптимального режиму контролю елемента у разі залежності визначального параметра від напрацювання виду "а"

- середня вартість ліквідації наслідків виникнення відмови виробу $C_{отк}$;
- середня вартість ліквідації наслідків виникнення несправності $C_{ни}$.

Розраховуються значення безрозмірних комплексів виду:

$$G_1 = (C_{отк} - C_{ни}) / C_{ни}, \quad (10)$$

$$G_2 = (C_{отк} - C_{ни}) / C_{Д}. \quad (11)$$

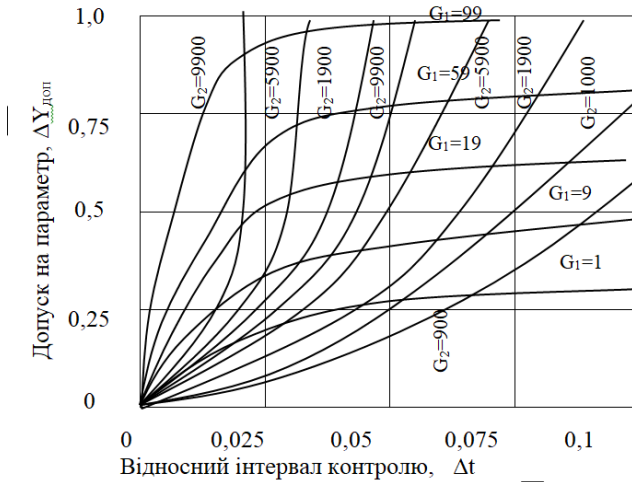


Рис.3. Номограма визначення оптимального режиму контролю елемента у разі зміни визначального параметра від напрацювання виду “в”

Знайдені оптимальні значення періодичності виконання контрольних операцій використовуються надалі при групуванні робіт за формами ТО ПС.

Список літератури

1. Салімов Р.М. Управління процесами технічного обслуговування авіаційної техніки на основі сучасних інформаційних технологій: дисертація канд. техн. наук: 05.22.20. – Київ: міжн. унів. цив. авіації, Київ, 2000 - 74 с.
2. Козлов О.А., Гатушкін О.А., Чехаровський І.Т. Оптимізація режиму обслуговування авіаційної техніки. У сб. Моделювання у забезпеченні безпеки польотів, К.: КПЦА, 1987, 131-138 с.