

УДК 629.735.083(045)

І.І. ЛІННІК, К.В. БОГАЙСЬКА, Т.Ю. КРАМАРЕНКО

*Національний авіаційний університет, Україна***КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ**

*Проведений аналіз станів в яких може перебувати енергетична установка сучасної авіаційної наземної техніки з метою побудови математичної моделі її системи технічного обслуговування. Застосування цієї моделі дозволяє вирішити задачу підвищення ефективності управління системою технічного обслуговування авіаційної наземної техніки завдяки науковому обґрунтуванню і коригуванню плану робіт з контролю її технічного стану. Зокрема, модель дозволяє дослідити вплив тривалості технологічних експлуатаційних процесів на імовірність безвідмовної роботи енергетичної установки та оцінити коефіцієнт готовності.*

**Ключові слова:** авіаційна наземна техніка, надійність, технічний стан

**Постановка завдання**

Основна мета, яка стоїть перед кожним аеропортом, є максимізація прибутку від використання повітряних суден, як комерційних транспортних засобів при безперечному домінуванні вимоги до безпеки польотів. Вирішення цієї задачі на тлі постійно зростаючої складності авіаційної техніки і досить високих вимог до безпеки і регулярності польотів потребують також постійного моніторингу показників ефективності використання авіаційної наземної техніки (АНТ). Це в свою чергу потребує постійного моніторингу систем технічного обслуговування (ТО) АНТ та своєчасної розробки і прийняття заходів з попередження збійних ситуацій у виробництві з технічних та організаційних причин.

Одним із ключових елементів АНТ, який в суттєвій мірі впливає на ефективність її використання є енергетичні установки АНТ. Вони використовуються і як силові установки, і як джерела енергії для спеціального обладнання. Так як у якості енергетичних установок використовуються в основному двигуни внутрішнього згоряння дуже гостро постає питання оптимізації їх ТО з метою підтримання кожного конкретного екземпляра АНТ в постійній готовності до використання і тим самим зменшити загальну кількість спецтехніки, яка використовується в аеропорту, і відповідно зменшити витрати на її закупівлю та утримання.

**Вирішення завдання**

Розглянемо вдосконалену систему ТО енергетичної установки АНТ, яка включає безперервний і періодичний контроль технічного стану (ТС) енергетичної установки АНТ (об'єкту контролю – ОК), автоматизовані періодичні перевірки (АПП), між-

регламентне ТО, регламентне ТО (РТО). Таку систему ТО можна застосувати до більшості сучасних енергетичних установок АНТ. Для зменшення числа станів періодичний контроль ТС, який проводиться відносно часто (через 3...4 доби), об'єднаємо в поняття "безперервний контроль". Орієнтований граф станів енергетичної установки АНТ наведено на рис. 1.

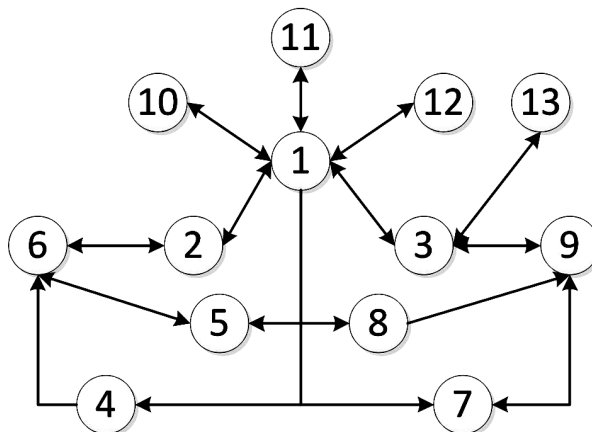


Рис. 1. Граф станів енергетичної установки АНТ з комплексною системою ТО

Стани графу на рис. 1:

- 1 – ОК знаходиться в готовності до роботи;
- 2 – проводиться регламентне ТО;
- 3 – виконуються АПП;
- 4 – ОК знаходиться в стані прихованого пошкодження з причини пошкодження його елементів, ТС яких контролюється під час регламентного ТО;
- 5 – ОК знаходиться в стані прихованої відмови з причини втрати працездатності його елементів, ТС яких контролюється під час регламентного ТО;
- 6 – усунення відмов і пошкоджень під час регламентного ТО;

7 – ОК знаходиться у стані прихованої відмови з причини втрати працездатності його елементів, ТС яких контролюється під час АПП;

8 – ОК знаходиться в стані прихованого пошкодження з причини пошкодження його елементів, ТС яких контролюється під час АПП;

9 – усунення відмов і пошкоджень під час АПП;

10 – усунення відмов елементів ОК, ТС яких контролюється безперервно;

11 – усунення пошкоджень елементів ОК, ТС яких контролюється безперервно;

12 – на ОК проводиться міжрегламентне ТО;

13 – ОК знаходиться в стані помилкової відмови, і на ній виконуються ремонтно-відновлювальні роботи.

Відповідно до цього графу станів можна виділити наступні переходи ОК з комплексною системою ТО та відповідні інтенсивності цих переходів:

(1-2) – перехід готового до роботи ОК на РТО

$$\tau_{\text{мрг}}^{-1};$$

(1-3) – перехід готової до роботи ОК на АПП

$$\tau_{\text{мпп}}^{-1};$$

(1-4) – пошкодження які контролюються під час РТО

$$\omega_{\text{рг}}^{\text{п}} = (1 - \gamma)\omega_{\text{рг}};$$

(1-5) – відмова елементів, ТС яких контролюється під час РТО

$$\omega_{\text{рг}}^{\text{в}} = \gamma\omega_{\text{рг}}, \omega_{\text{рг}} = b_{\text{рг}}\omega_{\Sigma};$$

(1-7) – відмова елементів, ТС яких контролюється під час АПП

$$\omega_{\text{пп}}^{\text{в}} = \gamma\omega_{\text{пп}}, \omega_{\text{пп}} = b_{\text{пп}}\omega_{\Sigma};$$

(1-8) – пошкодження які контролюються під час АПП

$$\omega_{\text{пп}}^{\text{п}} = (1 - \gamma)\omega_{\text{пп}};$$

(1-10) – відмова елементів, ТС яких контролюється безперервно

$$\omega_{\text{непр}}^{\text{п}} = \gamma\omega_{\text{непр}}, \omega_{\text{непр}} = b_{\text{непр}}\omega_{\Sigma};$$

(1-11) – пошкодження елементів, ТС яких контролюється безперервно

$$\omega_{\text{непр}}^{\text{п}} = (1 - \gamma)\omega_{\text{непр}};$$

(1-12) – перехід ОК на міжрегламентне ТО

$$\tau_{\text{мо}}^{-1};$$

(2-1) – перехід ОК після закінчення РТО в стан готовності до застосування за призначенням

$$\tau_{\text{рг}}^{-1};$$

(2-6) – відмова ОК в процесі РТО

$$\omega_{\text{рг}}^{\text{вкл}} + v_1, \omega_{\text{рг}}^{\text{вкл}} = 10^2 \dots 10^3 \omega_{\text{рг}};$$

(3-1) – перехід ОК після закінчення АПП в стан готовності до застосування за призначенням

$$(1 - \alpha)\tau_{\text{пп}}^{-1};$$

(3-9) – відмова ОК в процесі АПП

$$\omega_{\text{пп}}^{\text{вкл}} + v_1, \omega_{\text{пп}}^{\text{вкл}} = 10^2 \dots 10^3 \omega_{\text{пп}};$$

(3-13) – помилкова відмова ОК в процесі АПП

$$\alpha\tau_{\text{пп}}^{-1};$$

(4-6) – перехід пошкодженого ОК на РТО

$$\left[ \tau_{\text{мрг}} - \omega_{\text{рг}}^{\text{п}} \left( 1 - e^{-\omega_{\text{рг}}^{\text{п}} \tau_{\text{мрг}}} \right) \right]^{-1};$$

(5-6) – перехід відмовившого ОК на РТО

$$\left[ \tau_{\text{мрг}} - \omega_{\text{рг}}^{\text{в}} \left( 1 - e^{-\omega_{\text{рг}}^{\text{в}} \tau_{\text{мрг}}} \right) \right]^{-1};$$

(6-2) – усунення відмов і пошкоджень ОК в процесі РТО

$$(1 - \beta)\tau_{\text{ус}}^{\text{рг}}^{-1};$$

(6-5) – перехід ОК в стан прихованої відмови з причини помилкової відмови його елементів, ТС яких контролюється під час РТО

$$\beta\tau_{\text{ус}}^{\text{рг}}^{-1};$$

(7-9) – перехід пошкодженого ОК на АПП

$$\left[ \tau_{\text{мпп}} - \omega_{\text{пп}}^{\text{в}} \left( 1 - e^{-\omega_{\text{пп}}^{\text{в}} \tau_{\text{мпп}}} \right) \right]^{-1};$$

(8-9) – перехід відмовившого ОК на АПП

$$\left[ \tau_{\text{мпп}} - \omega_{\text{пп}}^{\text{п}} \left( 1 - e^{-\omega_{\text{пп}}^{\text{п}} \tau_{\text{мпп}}} \right) \right]^{-1};$$

(9-3) – перехід ОК на підтверджуючий АПП після усунення відмов і пошкоджень

$$(1 - \beta)\left(\tau_{\text{ус}}^{\text{пп}} + \tau_{\text{пп}}\right)^{-1};$$

(9-7) – перехід ОК в стан прихованої відмови з причини помилкового пропущення відмови його елементів, ТС якого контролюється під час АПП

$$\beta\tau_{\text{пп}}^{-1};$$

(10-1) – перехід ОК в стан готовності після усунення відмов його елементів, ТС якого контролюється безперервно

$$\left(\tau_{\text{ус}}^{\text{непр}}\right)^{-1};$$

(11-1) – перехід ОК в стан готовності після усунення пошкоджень його елементів, ТС якого контролюється безперервно

$$\left(\tau_{\text{ус}}^{\text{непр}}\right)^{-1};$$

(12-1) – перехід ОК в стан готовності до застосування за призначенням, після міжрегламентного ТО

$$\tau_0^{-1};$$

(13–3) – перехід ОК на підтверджуюче АПП після ремонтно-відновлювальних робіт на помилково відмовившому ОК

$$\left(\tau_{yc}^{пп}\right)^{-1}.$$

Комплексна модель системи ТО дозволяє врахувати 16 експлуатаційних характеристик:  $\omega_{pr}$  – параметр потоку відмов елементів, ТС яких контролюються під час регламентного ТО;  $\omega_{пп}$  – параметр потоку відмов елементів, ТС яких контролюються під час АПП;  $\omega_{непр}$  – параметр потоку відмов елементів, ТС яких контролюються безперервно;  $\omega_{pr}^{вкл}$  – параметр потоку відмов елементів ОК в навантажених режимах під час РТО;  $\omega_{пп}^{вкл}$  – параметр потоку відмов елементів ОК в навантажених режимах під час АПП;  $\nu_1$  – інтенсивність помилок обслуговуючого персоналу (ОП) в процесі регламентного ТО;  $\nu_2$  – інтенсивність помилок ОП в процесі АПП;  $\tau_{pr}$  – тривалість регламентного ТО;  $\tau_{пп}$  – тривалість АПП;  $\tau_{по}$  – тривалість міжрегламентного ТО;  $\tau_{мрг}$  – періодичність проведення регламентного ТО;  $\tau_{пп}$  – періодичність проведення АПП;  $\tau_{мро}$  – періодичність проведення міжрегламентного ТО;  $\tau_{yc}^{pr}$  – тривалість усунення відмов при РТО;  $\tau_{yc}^{пп}$  – тривалість усунення відмов при АПП;  $\tau_{yc}^{непр}$  – тривалість усунення відмови елементів ОК, ТС яких контролюється безперервно.

Відзначимо, що частка відмов у сумарному потоці відмов  $\omega_{\Sigma}$ , які виявляються при безперервному і періодичному контролі ТС, АПП і РТО, задаються відповідними коефіцієнтами  $b_{непр}$ ,  $b_{пп}$ ,  $b_{pr}$  і характеризують повноту цих видів ТО. Степінь навантаження елементів ОК під час проведення ТО впливає на параметри потоків відмов ( $\omega_{непр}$ ,  $\omega_{пп}$ ,  $\omega_{pr}$ ) збільшуючи їх в  $10^2 \dots 10^3$  разів [1].

Для орієнтованого графа станів, представлено на рис.1, система диференціальних рівнянь має вигляд [2]:

$$\begin{aligned} P_1'(t) &= -(a_{12} + a_{13} + a_{14} + a_{15} + a_{17} + a_{18} + a_{1-10} + \\ &+ a_{1-11} + a_{1-12})P_1(t) + a_{21}P_2(t) + a_{31}P_3(t) + \\ &+ a_{10-1}P_{10}(t) + a_{11-1}P_{11}(t) + a_{12-1}P_{12}(t); \\ P_2'(t) &= a_{12}P_1(t) - (a_{21} + a_{26})P_2(t) + a_{62}P_6(t); \\ P_3'(t) &= a_{13}P_1(t) - (a_{31} + a_{39} + a_{3-13})P_3(t) + \\ &+ a_{93}P_9(t) + a_{13-3}P_{13}(t); \\ P_4'(t) &= a_{14}P_1(t) - a_{46}P_4(t); \\ P_5'(t) &= a_{15}P_1(t) - a_{56}P_5(t) - a_{65}P_6(t); \\ P_6'(t) &= a_{26}P_2(t) + a_{46}P_4(t) + a_{56}P_5(t) - \\ &- (a_{62} + a_{65})P_6(t); \end{aligned}$$

$$P_7'(t) = a_{17}P_1(t) - a_{79}P_7(t) + a_{97}P_9(t);$$

$$P_8'(t) = a_{18}P_1(t) - a_{89}P_8(t);$$

$$P_9'(t) = a_{39}P_3(t) + a_{79}P_7(t) + a_{89}P_8(t) - \\ - (a_{93} + a_{97})P_9(t);$$

$$P_{10}'(t) = a_{1-10}P_1 - a_{10-1}P_{10};$$

$$P_{11}'(t) = a_{1-11}P_1(t) - a_{11-1}P_{11}(t);$$

$$P_{12}'(t) = a_{1-12}P_1(t) - a_{12-1}P_{12}(t);$$

$$P_{13}'(t) = a_{3-13}P_3(t) - a_{13-3}P_{13}(t).$$

Характерною рисою сучасних енергетичних установок АНТ є необхідність повернення їх на технічні майданчики при виникненні відмов у значній частині їхніх систем і агрегатів, досить великий обсяг підготовчих і заключних операцій при усуненні відмов і наближенні їх до тривалості РТО. В зв'язку з цим виникає необхідність оцінювати можливість використання комбінованої стратегії проведення РТО:

– якщо відмови виникли незадовго до планового терміну проведення РТО, їхнє усунення необхідно доповнити операціями РТО;

– якщо відмови виникли незабаром після РТО, то необхідно провести тільки їхнє усунення;

– якщо відмови до проведення РТО взагалі не виникли, варто провести РТО в плановий термін.

При побудові моделі комбінованої стратегії проведення РТО будемо використовувати наступні правила:

– якщо відмова відбулась і виявлена при періодичному контролі ТС в межах деякого безрегламентного інтервалу  $\tau_{бр} \leq \tau_{мрг}$ , то її усунення не поєднується з РТО, яке проводиться в плановий термін;

– якщо відмова виявлена за межами безрегламентного інтервалу, то роботи з усунення відмови доповнюються до повного обсягу РТО, яке в цьому випадку в плановий термін не проводиться.

Для оцінки доцільності застосування комбінованої стратегії ТО у вектор  $X$  експлуатаційних характеристик вводиться коефіцієнт плановості РТО:

$$\xi = \tau_{бр} / \tau_{мрг}.$$

З формул для визначення умовних інтенсивностей переходів видно, що при  $\xi = 0$  РТО проводиться тільки при наявності відмов ОК ( $a_{12} = 0$ ,  $a_{63} = 0$ ), при  $\xi = 1$   $a_{62} = 0$ , тобто об'єднання РТО з усуненням відмов не здійснюється.

При проведенні параметричного аналізу моделі системи ТО будемо змінювати тільки декілька змінних при фіксованих значеннях інших змінних, це дозволить виявити вплив основних параметрів систем ТО ОК на його готовність до застосування за призначенням і висунути вимоги до організації оці-

нки цих параметрів в процесі експлуатації. Крім цього оцінюється чутливість комплексної моделі до параметрів систем ТО, стійкість показників ефективності систем ТО до флуктуацій вхідних даних і визначити границі варіювання параметрів при рішенні задач оптимального синтезу системи ТО ОК.

Аналіз залежності імовірності  $P_1$  перебування ОК в готовності до роботи від параметрів комплексної системи ТО показав, що модель чутлива до параметрів системи ТО.

Максимум має яскраво виражений характер для  $\omega_\Sigma = 10^{-5} \text{ г}^{-1}$  (рис. 2) при періодичності  $\tau_{\text{мрг}}$  РТО 0,4...1,4 року, для  $10^{-7} \text{ г}^{-1} < \omega_\Sigma < 10^{-5} \text{ г}^{-1}$  максимум вже більш розмитий і досягається при  $\tau_{\text{мрг}} = 1,0...3,0$  роки (рис.3), а для  $\omega_\Sigma \leq 10^{-7} \text{ г}^{-1}$  імовірність  $P_1$  при  $\tau_{\text{мрг}} > 3,0$  років стабілізується на одному рівні (рис.4). Це вказує як на взаємозв'язок між параметрами надійності ОК і параметрами ТО, так і на необхідність організації якісного збору, обліку і обробки статистичних даних з надійності ОК в процесі експлуатації.

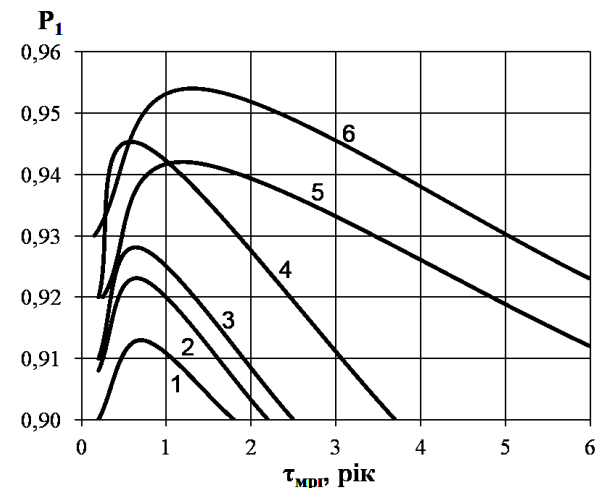


Рис. 2. Залежність імовірності  $P_1$  від обсягу ТО при  $\omega_\Sigma = 10^{-5} \text{ г}^{-1}$ : 1 –  $b_{\text{рг}} = 0,6; b_{\text{пп}} = 0,3; b_{\text{непр}} = 0,1$ ; 2 –  $b_{\text{рг}} = 0,6; b_{\text{пп}} = 0,1; b_{\text{непр}} = 0,3$ ; 3 –  $b_{\text{рг}} = 0,3; b_{\text{пп}} = 0,6; b_{\text{непр}} = 0,1$ ; 4 –  $b_{\text{рг}} = 0,3; b_{\text{пп}} = 0,1; b_{\text{непр}} = 0,6$ ; 5 –  $b_{\text{рг}} = 0,1; b_{\text{пп}} = 0,6; b_{\text{непр}} = 0,3$ ; 6 –  $b_{\text{рг}} = 0,1; b_{\text{пп}} = 0,3; b_{\text{непр}} = 0,6$

Треба підкреслити, що визначеному рівню надійності ( $\omega_\Sigma$ ) відповідає цілком визначена періодичність РТО, що забезпечує максимум  $P_1$ , при цьому зменшення  $\omega_\Sigma$  приводить до зсуву вправо максимуму  $P_1$ .

При збільшенні повноти ТО в процесі експлуатації ОК імовірність  $P_1$  зростає. Так, якщо частка відмов і пошкоджень, виявлених під час РТО, складає 60% ( $b_{\text{рг}} = 0,6$ ) від сумарного параметра потоку відмов і пошкоджень  $\omega_\Sigma$ , виявляємо під час АПП – 30% ( $b_{\text{пп}} = 0,3$ ) і виявляємо під час безперервного контролю – 10% ( $b_{\text{непр}} = 0,1$ ), тоді максимальне зна-

чення  $P_1$  при  $\omega_\Sigma = 10^{-5} \text{ г}^{-1}$  дорівнює 0,914. При збільшенні обсягу АПП в порівнянні з РТО ( $b_{\text{рг}} = 0,3; b_{\text{пп}} = 0,6; b_{\text{непр}} = 0,1$ ) максимальне значення  $P_1$  зростає на 11% і дорівнює 0,927. Ще більшого збільшення  $P_1$  можна було б отримати переносом основного обсягу перевірок на безперервний контроль ( $b_{\text{рг}} = 0,1; b_{\text{пп}} = 0,3; b_{\text{непр}} = 0,6$ ). При зменшенні  $\omega_\Sigma$  характер залежності не змінюється, проте приріст  $P_1$  стає менш помітним.

Для забезпечення вірогідності оцінки достатності повноти різних видів ТО необхідно при обробці статистики з відмов і пошкоджень функціональних систем і комплектуючих енергетичних установок АНТ визначати, при якому виді ТО контролюються ці елементи в процесі експлуатації.

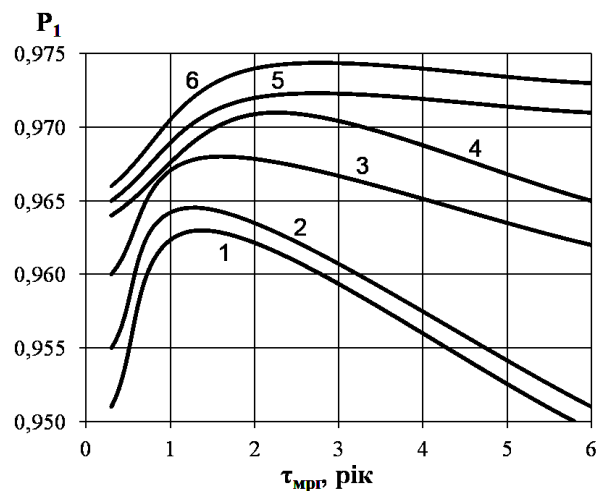


Рис. 3. Залежність імовірності  $P_1$  від обсягу ТО при  $\omega_\Sigma = 10^{-6} \text{ г}^{-1}$

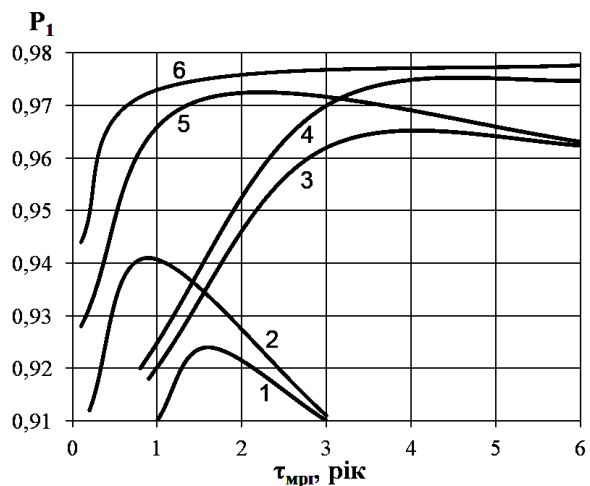


Рис. 4. Залежність імовірності  $P_1$  від тривалості РТО при  $b_{\text{рг}} = 0,3; b_{\text{пп}} = 0,1; b_{\text{непр}} = 0,6; \tau_{\text{мпн}} = 6$ :  $\tau_{\text{рг}} = 100 \text{ г}; \tau_{\text{рг}} = 250 \text{ г}$ : 1, 2 –  $\omega_\Sigma = 10^{-5} \text{ г}^{-1}$ ; 3, 4 –  $\omega_\Sigma = 10^{-6} \text{ г}^{-1}$ ; 5, 6 –  $\omega_\Sigma = 10^{-7} \text{ г}^{-1}$ ;

Розглянемо тепер вплив тривалості технологічних експлуатаційних процесів на імовірність  $P_1$ .

Аналіз показана, що найбільш суттєве зменшення максимального значення  $P_1$  спостерігається при збільшенні  $\tau_{pr}$  із 100 до 250 годин для низької надійності ( $\omega_{\Sigma} \geq 10^{-5} \text{ г}^{-1}$ ) – на 2% і більше, при цьому максимум  $P_1$  зсувається вправо з 0,5...1,0 року до 1,5 року. Для  $\omega_{\Sigma} = 10^{-6} \text{ г}^{-1}$  зменшення  $P_1$  складає 1%, а максимум  $P_1$  зсувається з 2 до 4 років. Це ще раз підкреслює необхідність в експлуатації пошуку шляхів скорочення тривалості РТО і одержання її достовірної оцінки.

Комплексна модель системи ТО чуттєва до тривалостей усунення відмов і пошкоджень елементів, які контролюються безперервно, при АПП і РТО на відміну від типових моделей систем ТО енергетичних установок АНТ. Розрахунки показують, що зменшення середніх тривалостей усунення відмов і пошкоджень в 6 разів приводить до збільшення імовірності  $P_1$  для  $\omega_{\Sigma} = 10^{-6} \dots 10^{-7} \text{ г}^{-1}$  на 6...7%.

## Висновок

Таким чином, збір статистичних даних про терміни усунення відмов і пошкоджень дозволяє не тільки оцінити ремонтпридатність комплектуючих АНТ, зокрема енергетичної установки, їхні показники надійності, але і оцінити завантаження і чисельність обслуговуючого персоналу, необхідного для проведення цих робіт.

## Література

1. Байхельт, Ф. *Надежность и техническое обслуживание. Математический подход [Текст]: пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.*
2. Венцель, Е.С. *Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.*

Надійшла до редакції 31.05.2012

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

## КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АВИАЦИОННОЙ НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ

*И.И. Линник, Е.В. Богайская, Т.Ю. Крамаренко*

Выполнен анализ состояний в которых может находиться энергетическая установка современной авиационной наземной техники с целью построения математической модели её системы технического обслуживания. Применение этой модели позволяет решить задачу повышения эффективности управлений системой технического обслуживания авиационной наземной техники благодаря научному обоснованию и корректировке плана работ по контролю её технического состояния. В частности, модель позволяет исследовать влияние продолжительности технологических эксплуатационных процессов на вероятность безотказной работы энергетической установки и оценить её коэффициент готовности.

**Ключевые слова:** авиационная наземная техника, надежность, техническое состояние.

## COMPLEX MODEL OF MAINTENANCE SYSTEM SERVICE OF POWER INSTALLATIONS OF LAND AERONAUTICS

*I.I. Linnik, E.V. Bogajsky, T.J. Kramarenko*

The analysis of conditions in which can be, power installation of a modern land aeronautics is made. Construction of mathematical model of maintenance system service of a land aeronautics was the analysis purpose. Application of this model allows to solve a problem of efficiency raise of controls of maintenance system service of a land aeronautics. It is attained thanks to a scientific substantiation and work shedule updating under the control of a technical condition of a land aeronautics. In particular, the model allows to investigate agency of duration of technological operational processes on probability of non-failure of power installation and to size up its operational readiness coefficient.

**Keywords:** land aeronautics, reliability, technical condition.

**Лінник Іван Іванович** – канд. техн. наук, доцент, викладач Криворізького авіаційного коледжу Національного авіаційного університету, Кривий Ріг, Україна, e-mail: avia\_icao@mail.ru.

**Богайська Катерина Володимирівна** – аспірантка кафедри технологій аеропортів, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: katemol-69@mail.ru.

**Крамаренко Тетяна Юрївна** – аспірантка кафедри технологій аеропортів, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: kramarenko\_t@meta.ua.