

DOI: 10.18372/2310-5461.47.14940

УДК 656.7.071: 656.7.052.002.5 (045)

*I. М. Яшанов*Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-9110-2162
e-mail: ivan_yashanov@ukr.net

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ВИТРАТ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ НАЗЕМНИХ ЗАСОБІВ АЕРОНАВІГАЦІЇ

Вступ

Технічну базу інформаційно-технічного забезпечення аеронавігаційної системи складає комплекс наземних, навколосемних та бортових технічних засобів, від якості і надійності функціонування яких значною мірою залежить безпека і регулярність повітряного руху цивільної авіації (ЦА).

До комплексу наземних радіоелектронних засобів відносяться наземні радіонавігаційні та радіолокаційні системи, засоби радіозв'язку, автоматизовані системи керування повітряним рухом (далі наземні радіоелектронні засоби аеронавігації — НРЗА), які формують та надають споживачам інформацію щодо параметрів польоту упродовж усього маршруту від зльоту до посадки повітряного судна (ПС).

Задачі підтримки необхідного рівня ефективності та надійного функціонування НРЗА вирішуються у системах експлуатації (СЕ)

До складу СЕ НРЗА входять власне обладнання НРЗА, технологічні процеси (ТП), персонал, документація, засоби технічного оснащення (будівлі, споруди тощо). До ТП відносять процеси технічного обслуговування (ТО), ремонту, продовження ресурсу, моніторингу, контролю тощо. У загальному випадку СЕ можна розглядати як об'єкт проектування та вдосконалення. Відповідно до об'єктів розробки і модернізації можуть бути технологічні процеси в СЕ. У цій статті розглядаються питання оцінки витрат ресурсів на реалізацію процесів поточного ремонту НРЗА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання поточного ремонту технічних систем та зокрема радіоелектронного обладнання розглянуті в науково-технічній літературі та нормативних документах [1]. Оцінку витрат ресурсів на поточний ремонт у праці [2] розглядають у рамках таких показників ефективності, як середня вартість, середня трудомісткість, середній час поточного ремонту тощо. При цьому розуміємо, що у процесі поточного ремонту виконуються технологічні операції технічного діагностування,

тобто пошуку елемента, що відмовив, а далі виконують операції заміни елемента, що відмов на справний і перевірки працездатності обладнання в цілому.

Постановка завдання

Аналіз функціонування СЕ НРЗА показує, що у зв'язку з випадковим характером подій відмов і пошкоджень в НРЗА витрати ресурсів на реалізацію процесів поточного ремонту є також стохастичними. Відповідно стохастичними є значення тих чи інших показників ефективності поточного ремонту НРЗА. У працях [3; 4; 5] звернули увагу на той факт, що показники ефективності витрат ресурсів на поточний ремонт об'єктивно є випадковими величинами і тому найбільш повною характеристикою є щільності розподілу ймовірностей або ряд моментів таких, як математичне сподівання, дисперсія та моменти більш високого порядку.

Однак у нормативних документах показники ефективності поточного ремонту розглядають у рамках математичних сподівань витрат ресурсів. Таким чином, існує протиріччя між рекомендованою оцінкою витрат ресурсів на поточний ремонт у нормативних документах та об'єктивним рівнем витрат, який має місце під час експлуатації НРЗА.

У даній статті у якості продовження результатів [6–10] розглянуто числові приклади та математичні співвідношення, які більш ґрунтовно дозволяють оцінити рівень додаткових витрат, що мають місце під час визначеного протиріччя.

Завдання дослідження

Метою цієї статті є отримання аналітичних співвідношень, які більш повно дозволять оцінити умови, за яких можна знайти оптимальні параметри планування витрат ресурсів на поточний ремонт у рамках сформульованого вище протиріччя.

Для досягнення мети дослідження були вирішені такі завдання:

— розрахунок витрат ресурсів на ремонт НРЗА для практично можливого розподілу витрат ресурсів на один ремонт;

— отримання аналітичних співвідношень для однієї схеми планування витрат ресурсів на точний ремонт НРЗА;

— побудова номограм залежності сумарних витрат коштів на ремонт в залежності від обсягу резервних витратних коштів та формування висновків щодо вірності способу подолання протиріччя, сформованого вище.

Приклад розрахунку

Зазвичай кількість відмов НРЗА на певний період спостереження описується законом Пуассона [12], якщо щільності розподілу ймовірностей (ЩРІ) напрацьовані на відмову мають експоненціальну модель. У випадках, коли інтенсивності відмов або пошкоджень в НРЗА достатньо великі, тобто кількість подій відмов або пошкоджень достатньо велика, тоді дискретний розподіл кількості подій може бути збігатися до нормального розподілу.

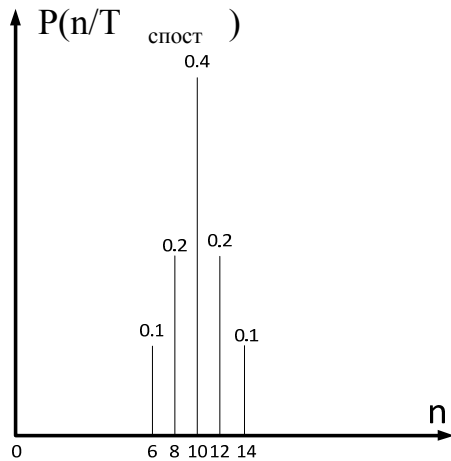


Рис. 1. Приклад розподілу числа відмов

Вирішимо завдання визначення нового розподілу витрат на ремонт НРЗА $P_2(C_\Sigma/T_{\text{спост}})$ якщо маємо вихідний розподіл витрат $P_1(C_\Sigma/T_{\text{спост}})$ та різні варіанти фінансування ремонтних робіт — Варіант А та Варіант Б.

Варіант А. В Системі експлуатації визначили потрібний рівень витрат на ремонт на рівні математичного сподівання $m_1(C_\Sigma/\text{Вар.А})$ з урахуванням розподілу витрат $P_1(C_\Sigma/T_{\text{спост}})$. Тобто проектне рішення щодо витрат ресурсів на ремонт дорівнює $m_1(C_\Sigma/\text{Вар.А}) = 100 \text{ у.о.}$, яке визначаємо наступним чином

$$\begin{aligned} m_1(C_\Sigma/\text{Вар.А}) &= 0,1 * 60 \text{ у.о.} + \\ &+ 0,2 * 80 \text{ у.о.} + 0,4 * 100 \text{ у.о.} + \\ &+ 0,2 * 120 \text{ у.о.} + 0,1 * 140 \text{ у.о.} = 100 \text{ у.о.} \end{aligned}$$

Вважаємо що в системі експлуатації є достатня кількість ресурсів щоб виконати ремонт НРЗА

Для спрощення розрахунків у цій статті буде використувати ЩРІ довільного вигляду, яка і нормальна ЩРІ має коефіцієнт асиметрії рівний нулю. Розглянемо приклад розрахунку витрат ресурсів на ремонт НРЗА, що пов'язаний з обґрунтуванням підходу для більш адекватного врахування статистичних характеристик витрат, що мають місце в СЕ НРЗА під час ремонту радіоелектронних засобів.

Нехай є ремонтний орган та обладнання, що необхідно відремонтувати. Нехай за час спостереження $T_{\text{спост}}$ маємо такий розподіл числа відмов НРЗА.

Припустимо що середня вартість одного ремонту дорівнює $C_{\text{рем}} = 10 \text{ у.о.}$

Тоді з урахуванням рис. 1 будемо мати такий розподіл витрат ресурсів на ремонт НРЗА $P_1(C_\Sigma/T_{\text{спост}})$, як це показано на рис. 2.

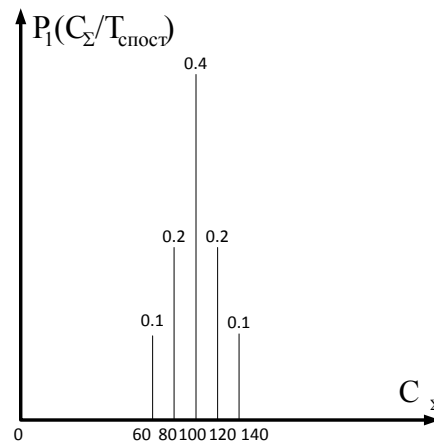


Рис. 2. Розподіл витрат ресурсів на ремонт НРЗА

в межах від 60 до 140 у.о. залежно від того скільки відмов сталося на інтервалі спостереження $T_{\text{спост}}$. При цьому очікуваний проектний обсяг витрат дорівнює $m_1(C_\Sigma/\text{Вар.А}) = 100 \text{ у.о.}$

Варіант Б. Система має певний резерв ресурсів на виконання ремонтних робіт Якщо фактичні витрати ресурсів будуть більші ніж $C_{\text{резерв}}$, тоді в СЕ залучають кредитні кошти, які потім потрібне повернути з обумовленим рівнем відсотків $M\%$. При розрахунках розглянемо варіанти відсоткових ставок $M\%$ на рівнях — 0%, 2%, 5%, 7%, 10%, 20%, 30%, 40–100%. Звісно, що в такому випадку в СЕ маємо додаткові витрати ресурсів на ремонт НРЗА. Визначимо математичні сподівання витрат ресурсів на ремонт НРЗА $m_1(C_\Sigma/\text{Вар.Б})$ для відсоткових ставок від 0–100% і різних значень запасу ресурсів $C_{\text{резерв}} = 60; 80; 100; 110; 120 \text{ у.о.}$

З урахуванням резерву розподіл витратних коштів зміниться і набуде інакшої форми $P_2(C_{\Sigma}/T_{\text{спост}})$, що показано на рис. 2

Нагадаємо, що для варіанту А проєктне рішення щодо майбутніх витрат ресурсів в СЕ обране як $m_1(C_{\Sigma}/\text{Вар.А}) = 100 \text{ у.о.}$

Нехай в СЕ маємо запас ресурсів $C_{\text{резерв}} = 60 \text{ у.о.}$ і рівень відсоткової ставки $M\%$ дорівнює 0% .

Якщо на інтервалі $T_{\text{спост}}$ буде потрібно витрати 60 у.о. , то ці ресурси в СЕ будуть — $C_{\text{рез}} = 60 \text{ у.о.}$ Вірогідність такого випадку — $0,1$. Якщо на інтервалі $T_{\text{спост}}$ необхідно буде витрати 80 у.о. то беремо з запасу ресурсів $C_{\text{рез}} = 60 \text{ у.о.}$ і додаємо 20 у.о. без відсотків на додаткові витрати. Ця подія з урахуванням рис. 2.4 має вірогідність $0,2$. Якщо необхідно витратити 100 у.о. , тоді беремо з запасу $C_{\text{рез}} = 60 \text{ у.о.}$ і додаємо 40 у.о. без відсотків із збільшенням ресурсів. Ця подія з урахуванням рис. 2 має вірогідність $0,4$, і так далі. Тоді математичне сподівання витрат ресурсів визначаємо як

$$\begin{aligned} m_1(C_{\Sigma}/\text{Вар.Б}; C_{\text{рез}} = 60 \text{ у.о.}; M = 0\%) = \\ = 0,1 * 60 + 0,2(60 + 20) + 0,4(60 + 40) + \\ + 0,2(60 + 60) + 0,1(60 + 80) = 100 \text{ у.о.} \end{aligned}$$

Цей приклад відповідає випадку, коли ремонтній організації надавали відсутні ресурси без відсотків.

Нехай тепер відсоткова ставка M дорівнює 5% . Тоді отримаємо

$$\begin{aligned} m_1(C_{\Sigma}/\text{Вар.Б}; C_{\text{рез}} = 60 \text{ у.о.}; M = 5\%) = \\ = 0,1 * 60 + 0,2(60 + 20 * 1,05) + \\ + 0,4(60 + 40 * 1,05) + 0,2(60 + \\ + 60 * 1,05) + 0,1(60 + 80 * 1,05) = 102 \text{ у.о.} \end{aligned}$$

Особливу увагу привертає варіант, коли $C_{\text{рез}} = 100 \text{ у.о.}$ Тобто СЕ налаштована на рівень витрат, що відповідає проєктному рішенням $m_1(C_{\Sigma}/\text{Вар.А}) = 100 \text{ у.о.}$ Тоді для витрат за $T_{\text{спост}}$ рівних 60 у.о. , 80 у.о. і 100 у.о. ресурсів на рівні $C_{\text{рез}} = 100 \text{ у.о.}$ буде достатньо. Вірогідність такої події дорівнює $0,7$. Наведемо дві формули для варіанту, коли $C_{\text{рез}} = 100 \text{ у.о.}$, а рівні відсоткових ставок $M\%$ дорівнює 0% і 10%

$$\begin{aligned} m_1(C_{\Sigma}/\text{Вар.Б}; C_{\text{рез}} = 100 \text{ у.о.}; M = 0\%) = \\ = 0,7 * 100 + 0,2(100 + 20) + \\ + 0,1(100 + 40) = 108 \text{ у.о.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_1(C_{\Sigma}/\text{Вар.Б}; C_{\text{рез}} = 100 \text{ у.о.}; M = 10\%) = \\ = 0,7 * 100 + 0,2(100 + 20 * 1,1) + \\ + 0,1(100 + 40 * 1,1) = 108,8 \text{ у.о.} \end{aligned}$$

У таблиці наведені дані розрахунків сумарних витрат на поточний ремонт НРЗА для варіантів, коли $M\%$ змінюється в межах $0-100\%$, а $C_{\text{резерв}}$ дорівнює $60, 80, 100, 110$ і 120 у.о.

На основі результатів розрахунків сумарних витрат на ремонт, що наведені у таблиці, можна зробити деякі висновки. Для будь якого фіксованого значення $C_{\text{резерв}}$ зі збільшенням відсоткової ставки $M\%$ середні сумарні витрати збільшуються. Для $C_{\text{резерв}} = 60 \text{ у.о.}$ у межах $0-10\%$ сумарні витрати на ремонт є найменшими серед усіх результатів. Такий же ефект маємо для $C_{\text{резерв}} = 80 \text{ у.о.}$ коли $M\%$ коливається у межах $20-40\%$. Для $C_{\text{резерв}} = 100 \text{ у.о.}$ середні витрати на ремонт найменші коли $M\%$ коливається у межах $50-100\%$. Таким чином, використовувати традиційне проєктне рішення на рівні математичного сподівання витрат ресурсів на ремонт є оптимальним для великих відсоткових ставок. Отже, для рівня відсоткових ставок у межах $0-50\%$ доцільніше використовувати резерв ресурсів на поточний ремонт, які менш чим математичне сподівання витрат, що очікуються (мається на увазі варіанти $C_{\text{резерв}} = 60 \text{ у.о.}$, 80 у.о.). Таким чином традиційний підхід щодо планування рівня витрат ресурсу на поточний ремонт НРЗА не є оптимальним.

У загальному випадку доцільно мати співвідношення за допомогою яких можна було би вирішити завдання оптимізації резервного обсягу ресурсів $C_{\text{резерв}}$ під час проєктування підсистеми поточного ремонту в СЕ НРЗА.

При цьому зробимо припущення про те, що ЩРІ сумарних витрат на поточний ремонт за певний час спостереження $f(C_{\Sigma}/\vec{\Theta}; T_{\text{спост}})$ має неперервний вигляд.

Таке припущення може існувати незважаючи на те, що розподіл імовірностей кількості відмов за термін $T_{\text{спост}}$ є дискретним, але витрати ресурсів на виконання окремих технологічних операцій має власні ЩРІ з неперервним виглядом функцій.

Також маємо на увазі, що вектор параметрів $\vec{\Theta}$ включає опис моделі кількості відмов за інтервал $T_{\text{спост}}$ та параметри ЩРІ витрат ресурсів на один ремонт.

Таблиця

Результати розрахунків сумарних витрат на ремонт НРЗА

M%	$C_{резерв} = 60$ у.о.	$C_{резерв} = 80$ у.о.	$C_{резерв} = 100$ у.о.	$C_{резерв} = 110$ у.о.	$C_{резерв} = 120$ у.о.
0	100	102	108	115	122
2	100,8	102,44	108,16	115,1	122,04
5	102	103,1	108,4	115,25	122,1
7	102,8	103,54	108,56	115,351	122,14
10	104	104,2	108,8	115,5	122,2
20	108	106,4	109,6	116	122,4
30	112	108,6	110,4	116,5	122,6
40	116	110,8	111,2	117	122,8
50	120	113	112	117,5	123
60	124	115	112,8	118	123,2
70	128	117,4	113,6	118,5	123,4
80	132	119,6	114,4	119	123,6
90	136	121,8	115,2	119,5	123,8
100	140	124	116	120	124

Приведемо формулу для розрахунку $m_1(C_\Sigma / \text{Вар.Б}; C_{рез}; T_{спост}; K; \bar{\Theta})$ і умові що затрати ресурсів на ремонт за час $T_{спост}$ є безперервними ЩРІ — $f(C_\Sigma / \bar{\Theta}; T_{спост})$.

Коефіцієнт K — це множник збільшення ресурсів, яких не вистачає виходячи з відсоткової ставки $M\%$

$$K = \frac{100\% + M\%}{100\%} = 1 + \frac{M\%}{100\%},$$

де $M\%$ — відсоткова ставка залучення додаткових ресурсів

Для аналітичного вирішення завдання обґрунтування оптимального рівня витрат ресурсів на ремонт.

Розглянемо дві змінні $X1$ та $X2$. Вважаємо, що змінна $X1$ дозволяє оцінити математичне сподівання витрат ресурсів на поточний ремонт за умов, що планується резервування коштів за традиційною методикою (математичне сподівання вартості ремонту де $C_{рез.пр.}$ — відповідає проєктному рішення).

Змінна $X2$ призначена для вирішення задачі мінімізації витрат ресурсів на ремонт шляхом визначення параметру $C_{рез.мін.}$.

Формули для математичних сподівань параметрів $X1$ та $X2$ має вигляд

$$\begin{aligned} X1 &= m_1(C_\Sigma / \text{Вар.Б}; C_{рез.пр.}; T_{спост}; K; \bar{\Theta}) = \\ &= C_{рез.пр.} \int_0^{C_{рез.пр.}} f(C_\Sigma) dC_\Sigma + \\ &+ \int_{C_{рез.пр.}}^{\infty} [C_{рез.пр.} + (C_\Sigma - C_{рез.пр.})K] f(C_\Sigma) dC_\Sigma. \end{aligned}$$

$$X2 = m_1(C_\Sigma / \text{Вар.Б}; C_{рез.мін.}; T_{спост}; K; \bar{\Theta}) =$$

$$\begin{aligned} &= C_{рез.мін.} \int_0^{C_{рез.мін.}} f(C_\Sigma) dC_\Sigma + \\ &+ \int_{C_{рез.мін.}}^{\infty} [C_{рез.мін.} + (C_\Sigma - C_{рез.мін.})K] f(C_\Sigma) dC_\Sigma \end{aligned}$$

Якщо відомі апіорні дані щодо $f(C_\Sigma / \bar{\Theta}; T_{спост})$ та рівня відсоткової ставки $M\%$ тоді можна знайти змінну Δ

$$\Delta = X1 - X2.$$

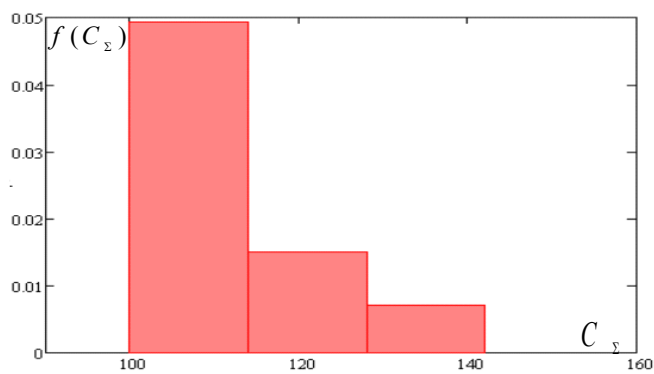
Підбираючи параметр $C_{рез.мін.}$ прагнемо максимізувати величину Δ . У наведених виразах для $X1$ та $X2$ відсоткова ставка $M\%$ є сталою величиною. У загальному випадку можна розглянути її як функцію від коштів, узятих у кредит.

При цьому функціональний вигляд виразів для $X1$ та $X2$ ускладниться. Було проведено моделювання у програмному середовищі MathCad для даних наведених у таблиці.

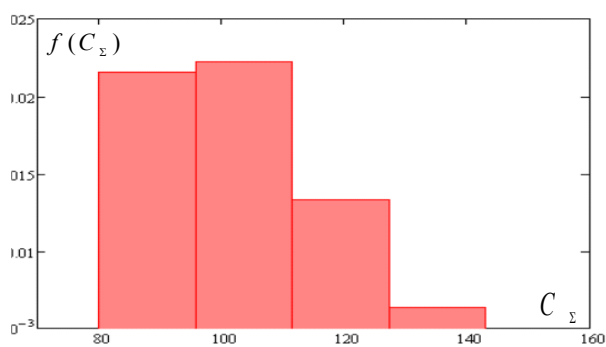
Як видно з рис. 3 при збільшенні $C_{рез}$ відбувається зменшення кількості можливих значень сумарних витрат. Результати теоретичних розрахунків математичного сподівання витрат представлені у вигляді номограми, поданої на рис. 4.

Аналіз графіків на рис. 4 показує, що за певних кредитних ставок існує оптимальне значення максимального запасу ресурсів, що забезпечує мінімум експлуатаційних витрат. В Україні кредитна ставка складає приблизно 20–30%.

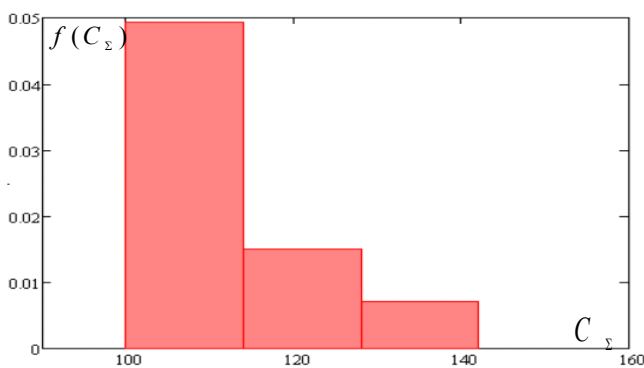
Як видно з графіку при 20% уже існує оптимум. Значення оптимуму може бути знайдено шляхом дослідження аналітичних співвідношень наведених вище, які порівнюють витрати ресурсів за традиційною методикою та методикою, яка запропонована у даній статті.



a — $C_{рез} = 60$ у.о.



б — $C_{рез} = 80$ у.о.



в — $C_{рез} = 100$ у.о.

Рис. 3. Гістограми сумарних витрат на ремонтні роботи

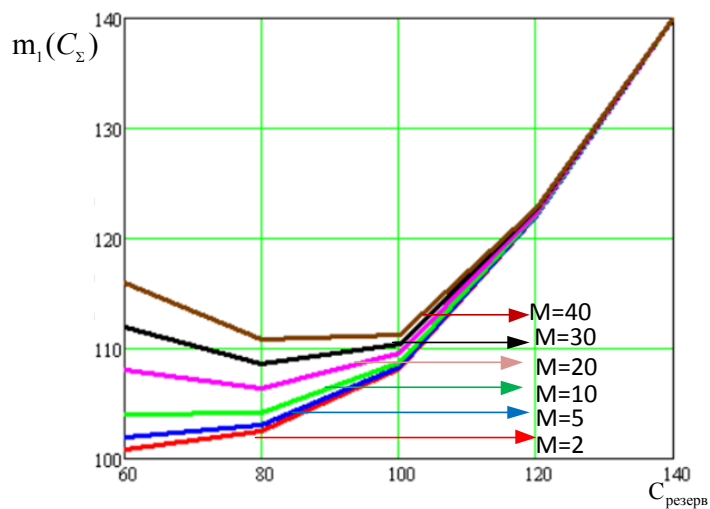


Рис. 4. Номограма витрат на ремонтні роботи

Висновки

Проведений у роботі аналіз показав, що для розрахунку експлуатаційних витрат недостатньо враховувати тільки математичне сподівання прогнозованих витрат.

Урахування щільності розподілу ймовірностей витрат дає можливість більш оптимально спроектувати систему експлуатації в частині очікуваних витрат на технічне обслуговування та ремонт НРЗА.

При цьому необхідно володіти певною апріорною інформацією щодо розподілів кількості відмов, відсоткової ставки та інші дані за необхідністю

Результати досліджень можуть бути використані у процесі проектування та удосконалення систем експлуатації наземних радіоелектронних засобів аеронавігації.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування технічного стану. Терміни та визначення. Затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України від 01.01.95. К.: Держстандарт України, 1994. 24 с.

2. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.96. К.: Держстандарт України, 1995. 92 с.

3. **Абрамов О. В.** Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения. *Информатика и системы управления*. 2011. №2(28). С. 4–15.

4. **Барзилович Е. Ю.** Модели технического обслуживания сложных систем. М.: Высш. шк., 1982. 232 с.

5. **Буртаев Ю. Ф.,** Острейковский В. А. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации. М.: Энергоатомиздат, 1995. 240 с.

6. **Заліський М. Ю.,** Зуев О. В., Соломенцев О. В. Показник якості функціонування систем експлуатації наземних засобів радіотехнічного забезпечення польотів. *Збірник наукових праць Державного університету інформаційних технологій*. 2010. Т. 8. № 2. С. 194–200.

7. **Яшанов І. М.,** Німич В. В., Заліський М. Ю. Підсистема забезпечення результативності та ефективності системи експлуатації технічних комплексів. *Електроніка та системи управління*. 2009. № 4 (22). С. 116–120.

8. **Заліський М. Ю.,** Німич В. В., Соломенцев О. В., Яшанов І. М. Ефективність функціонування систем експлуатації технічних комплексів в авіації. *Проблеми інформатизації та управління*. 2009. №4(28). С. 55–59.

9. **Zaliskyi M.,** Solomentsev O., Yashanov I. Analysis and optimization of diagnostic procedures for aviation radioelectronic equipment. Chapter in the book "Cases on Modern Computer Systems in Aviation". IGI Global, Pennsylvania, USA, 2019. Pp. 249–273.

10. **Соломенцева Е. А.,** Соломенцев А. В. О планировании затрат ресурсов в технологической системе обслуживания. *Проблеми інформатизації та управління*. 2002. №5. С. 181–184.

11. **Мелкумян В. Г.** Технологічні системи обслуговуючого типу. Елементи теорії проектування і прикладні задачі експлуатації. К.: НАУ, 2003. 171 с.

12. **Управление состоянием сложных радиоэлектронных изделий, находящихся в эксплуатации: монография /** Б. Н. Тихонов, С. А. Моисеев, И. А. Ходжаев и др.; под ред. Б. Н. Тихонова. Орел : Академия ФСО России, 2010. 207 с.

Яшанов І. М.

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ВИТРАТ НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ НАЗЕМНИХ ЗАСОБІВ АЕРОНАВІГАЦІЇ

Стаття присвячена обґрунтуванню моделі витрат на експлуатацію наземних радіоелектронних засобів аеронавігації. До складу засобів аеронавігації входить комплекс наземних, навколосемних та бортових технічних засобів, від якості і надійності функціонування яких у значній мірі залежить безпека і регулярність повітряного руху цивільної авіації. До цих засобів відносять наземні радіонавігаційні та радіолокаційні системи, засоби радіозв'язку, автоматизовані системи керування повітряним рухом, які формують та надають споживачам інформацію щодо параметрів польоту упродовж всього маршруту від зльоту до посадки повітряного судна. Задачі підтримки необхідного рівня ефективності та надійного функціонування цих засобів вирішуються у системах експлуатації. У статті розглядаються питання отримання аналітичних співвідношень та визначення математичних співвідношень для оцінки витрат ресурсів на поточний ремонт. Зазвичай у нормативних документах оперують таким поняттям показника витрат, як математичне сподівання, хоча показники ефективності витрат ресурсів на поточний ремонт об'єктивно є випадковими величинами і тому найбільш повною характеристикою є щільності розподілу ймовірностей або ряд моментів, не тільки математичного сподівання, а й дисперсії, асиметрії, ексцесу та інших моментів більш високого порядку. У цій роботі автор розглянув два варіанти фінансування ремонтних робіт. Перший варіант пов'язаний з випадком, коли рівень резерву на ремонт визначається на рівні математичного сподівання. Другий варіант пов'язаний з випадком, коли система технічного обслуговування та ремонту має резерв ресурсів на виконання ремонтних робіт, що відрізняється від традиційного підходу планування витрат. У статті проаналізовано результати розрахунків математичних сподівань витрат ресурсів для різних рівнів відсоткових ставок та різних показників резервних коштів. Отримані аналітичні співвідношення для вирішення задачі оптимального вибору фонду ресурсів на поточний ремонт. При цьому проведено моделювання та побудовані гістограми для різних значень резервних коштів на ремонт. На основі теоретичних розрахунків побудована номограма, яка показує, що за певних відсоткових ставок існує оптимальне значення сумарних експлуатаційних витрат. Результати досліджень можуть бути використані у процесі проектування та удосконалення систем експлуатації наземних засобів аеронавігації.

Ключові слова: система експлуатації; наземні засоби аеронавігації; ремонт; оптимізація експлуатаційних витрат; показник ефективності.

Yashanov I. M.

SUBSTANTIATION OF COSTS MODEL FOR OPERATION OF AIR NAVIGATION EQUIPMENT

The article is devoted to the substantiation of costs model for the operation of electronic navigation equipment. The equipment of air navigation includes a set of ground, near-ground and onboard technical means, the quality and reliability of which largely influences on the safety and regularity of civil aviation. These include ground radio navigation and radar systems, radio communications, and automated air traffic control systems, which generate and provide consumers with information on flight parameters along the entire route from take-off to landing. The tasks of maintaining the required level of efficiency and reliable operation of these equipment are solved in the operation systems. The article considers the issues of obtaining analytical relations and determining mathematical relations for estimating the cost of resources for current repairs. Normative documents usually use such a concept of cost indicator as mathematical expectation, although the efficiency of resource costs for current repairs are objectively random variables and therefore the most complete characteristic is the probability density function or a number of characteristics, not only mathematical expectation but also variance, asymmetry, kurtosis and other moments of a higher order. In this paper, the author considered two options for financing repair procedures. The first option is related to the case when the level of the reserve for repairs is determined at the level of mathematical expectations. The second option is related to the case when the maintenance and repair system has a reserve of resources for repair procedures, which differs from the traditional approach to cost planning. The article analyzes the results of calculations of mathematical expectations of resource costs for different levels of interest rates and different indicators of reserve funds. Analytical relations are obtained to solve the problem of optimal choice of the resource fund for current repairs. At the same time, modeling was performed and histograms were constructed for different values of reserve funds for repairs. Based on theoretical calculations, a nomogram is constructed, which shows that at certain interest rates there is an optimal value of total operating costs. The research results can be used in the process of designing and improving the operation systems of ground-based air navigation equipment.

Keywords: operation system; ground air navigation equipment; repair; optimization of operating costs; efficiency indicator.

Яшанов И. М.

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ АЭРОНАВИГАЦИИ

Статья посвящена обоснованию модели затрат на эксплуатацию наземных средств аэронавигации. В состав средств аэронавигации входит комплекс наземных, околоземных и бортовых технических средств, от качества и надежности функционирования которых в значительной степени зависит безопасность и регулярность воздушного движения гражданской авиации. К этим средствам относятся наземные радионавигационные и радиолокационные системы, средства радиосвязи, автоматизированные системы управления воздушным движением, которые формируют и предоставляют потребителям информацию о параметрах полета в течение всего маршрута от взлета до посадки воздушного судна.

Задачи поддержания необходимого уровня эффективности и надежного функционирования этих средств решаются в системах эксплуатации. В статье рассматриваются вопросы получения аналитических соотношений и определения математических соотношений, которые более полно позволяют оценить условия, при которых можно найти оптимальные параметры планирования затрат ресурсов на текущий ремонт.

Разработка математических моделей является актуальной задачей методов научного познания, поскольку она позволяет решать задачи прогнозирования. Обычно в нормативных документах оперируют таким понятием показателя расходов, как математическое ожидание, хотя показатели эффективности затрат ресурсов на текущий ремонт объективно являются случайными величинами и поэтому наиболее полной характеристикой является плотности распределения вероятностей или ряд моментов, не только математического ожидания, но и дисперсии, асимметрии, эксцесса и других моментов более высокого порядка. В этой работе автор рассмотрел два варианта финансирования ремонтных работ. Первый вариант связан со случаем, когда уровень затрат на ремонт определяется на уровне математического ожидания. Второй вариант связан со случаем, когда система технического обслуживания и ремонта имеет резерв ресурсов на выполнение ремонтных работ. В статье проанализированы результаты расчетов с определением оптимальных процентных ставок при различных показателях резервных средств. Кроме того, в работе проведен синтез методов выбора параметров системы ремонта с точки зрения ее оптимизации. При этом проведено моделирование и построены гистограммы для различных значений резервных средств на ремонт. На основании моделирования построена номограмма, которая показывает, что при определенных кредитных ставках существует оптимальное значение максимального запаса ресурсов, обеспечивает минимум эксплуатационных затрат. Результаты исследований могут быть использованы в процессе проектирования и совершенствования систем эксплуатации наземных средств аэронавигации.

Ключевые слова: система эксплуатации; наземные средства аэронавигации; ремонт; оптимизация эксплуатационных расходов; показатель эффективности.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2020 р.

Прийнято до друку 28.09.2020 р.