

УДК 656.7.08.001.57 (04731)

В.О. Касьянов, д-р техн. наук
А.В. Гончаренко**ПАРАМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО КРИТЕРІЮ БЕЗПЕКИ**

Аерокосмічний інститут НАУ, e-mail: andygoncharenko@yahoo.com

*Розглянуто загальний вплив вагових коефіцієнтів на величину комплексного техніко-економічного критерію безпеки. Наведено формули розрахунку окремих проміжних показників, що використовуються на відповідних етапах досліджень математичної моделі критерію безпеки.***Вступ**

Функціонування будь-яких систем пов'язано з можливістю виникнення небажаних і непередбачених подій, що можуть стати наслідком збігу обставин та призвести до погіршення стану системи, її властивостей, певних характеристик функціонування.

У найгіршому випадку в результаті деяких подій може статися катастрофа з важкими втратами, які потім не можна поновити.

Функціонування систем завжди здійснюється за умови ненульової ймовірності виникнення подій, що погіршують її стан або можуть призвести до катастрофи. Тому задача підтримання безпеки вирішується на рівні прийнятної ризику. Для моделі функціонування авіаційної транспортної системи (АТС) такими показниками можуть бути:

- коефіцієнт технічного використання (КТВ);
- питомі експлуатаційні витрати;
- математичне сподівання величини прибутку або витрат за певний період часу.

Аналіз досліджень і публікацій

У праці [1] були вирішені прямі і зворотні задачі оптимізації профілактичних заміни та технічного обслуговування за критеріями КТВ і питомих експлуатаційних витрат із використанням допоміжних функцій Лагранжа. У праці [2] наведено принципові залежності, за допомогою яких є можливість розраховувати статистичні показники небезпеки. У працях [3; 4] запропоновано спрощені загальні показники економічного плану, які враховують величину економічних втрат унаслідок катастроф.

Загальна форма комплексного критерію, що враховує як технічні, так і економічні характеристики набуває вигляду:

$$C_i(V_s) = A(V_s) - \mu_i n K_{\text{т.в}}(V_s), \quad (1)$$

де $A(V_s)$ – математичне сподівання витрат АТС за розрахунковий термін часу t_k як функція від величини цілеспрямованих відрахувань безпосередньо на підтримання рівня безпеки польотів (БП) V_s ; μ_i – коефіцієнт зміни математичного

сподівання витрат за розрахунковий термін часу t_k , якщо задане значення КТВ зміниться на одиницю КТВ; n – кількість літальних апаратів, що знаходяться в експлуатації, тобто кількість можливих катастроф в АТС; $K_{\text{т.в}}(V_s)$ – КТВ як функція від V_s .

Постановка завдання

У формулі (1) функції $A(V_s)$ і $K_{\text{т.в}}(V_s)$ пов'язані між собою лише величиною V_s . Коефіцієнт μ_i не є таким, що може вважатися ваговим. Доцільно виокремити у функціях $A(V_s)$ і $K_{\text{т.в}}(V_s)$ ті частини вкладень V_s , які найбільш суттєво впливають на формування частот катастрофічних подій $\lambda(V_s)$ і подій, що призводять до погіршення визначального параметра $\eta(V_s)$.

Отже, для функцій $A(V_s)$ і $K_{\text{т.в}}(V_s)$ доречно ввести вагові коефіцієнти a та b , провести дослідження за цими параметрами, розглянути параметри, що враховують вплив заходів із забезпечення БП на формування рівнів $\lambda(V_s)$ та $\eta(V_s)$ відповідно із залученням додаткових параметрів α та ξ і, порівнявши проміжні результати між собою і остаточно з проміжними, зробити висновок про характер залежності та вплив зазначених параметрів на остаточний показник – комплексний техніко-економічний критерій безпеки.

Параметричне дослідження впливу вагових коефіцієнтів a та b на критерій безпеки

Для проведення розрахунків значень критерію безпеки використовували такі формули:

$$C_i(V_s) = a_i A(V_s) - b_i n K_{\text{т.в}}(V_s), \quad b_i = 1 - a_i, \quad (2)$$

$$A(V_s) = n \left\{ V_r(V_s) \left[X(V_s) Y^{n-1}(V_s) + \right] + \left[+ t_k e^{-n \cdot \lambda(V_s) \cdot t_k} \right] + \left[+ \Delta r Y^n(V_s) \right] \right\},$$

де $V_r(V_s)$ – швидкість витрат коштів як функція від V_s :

$$V_r(V_s) = V_t + V_e + V_s;$$

V_t, V_e, V_s – відповідно швидкості відрахувань на:

сплату ставок за оподаткуванням, експлуатаційні витрати, інвестиції в безпеку:

$$V_t = k_t V_d, V_e = k_e V_d, V_s = k_s V_d;$$

V_d – швидкість отримання доходів, k_t, k_e, k_s – відповідні числові коефіцієнти; $X(V_s), Y(V_s)$ – допоміжні функції:

$$X(V_s) = \frac{1}{\lambda(V_s)} - t_k e^{-\lambda(V_s) \cdot t_k} - \frac{1}{\lambda(V_s)} e^{-\lambda(V_s) \cdot t_k};$$

$$Y(V_s) = 1 - e^{-\lambda(V_s) \cdot t_k};$$

$\lambda(V_s)$ – модельне співвідношення, що встановлює залежність сумарної частоти потоку несприятливих випадкових подій λ від V_s :

$$\lambda(V_s) = \lambda_{\min} + \frac{\lambda_0 - \lambda_{\min}}{1 + \alpha V_s}; \tag{3}$$

λ_{\min} – мінімально досяжна за даного рівня розвитку техніки частота подій, яка не може бути зменшеною подальшим нарощуванням витрат; λ_0 – інтенсивність подій без проведення цілеспрямованих заходів із підтримки БП; α – ефективність використання витрат на підтримку БП; Δr – “разові” втрати в наслідок катастрофи.

Витрати, пов’язані з проведенням регламентних робіт із забезпечення експлуатації, не належать до V_s і тому $\lambda_0 \neq \infty$.

Для функції $\lambda(V_s)$ використовують модель в основу якої покладено врахування витрат на технічне обслуговування, ремонтні заміни тощо [3; 4].

Для розрахунку КТВ використовували формулу

$$K_{\text{т.в}}(V_s) = \frac{E\tau(V_s)}{E\tau(V_s) + N\tau, \tau_n, \tau_p(V_s)},$$

де $E\tau(V_s)$ – математичне сподівання періодичності ПЗ однотипних елементів τ :

$$E\tau(V_s) = \int_0^{\tau} (1 + P_0 \eta(V_s) \tau) e^{-\eta(V_s) \cdot \tau} d\tau;$$

P_0 – імовірність того, що в початковий момент часу ЛА знаходиться в працездатному стані;

$N\tau, \tau_n, \tau_p(V_s)$ – функція від керованих змінних:

τ, τ_n, τ_p :

$$N\tau, \tau_n, \tau_p(V_s) = \tau_p + (\tau_n - \tau_p) \left[(1 + P_0 \eta(V_s) \tau) \cdot e^{-\eta(V_s) \cdot \tau} \right];$$

τ_n, τ_p – відповідно час проведення ПЗ і аварійного ремонту, за допомогою якого усувається технічна відмова, що виникла до моменту τ .

Для розрахунку параметрів $\eta(V_s)$ використовували формулу

$$\eta(V_s) = \eta_{\min} + \frac{\eta_0 - \eta_{\min}}{1 + \xi V_s}; \tag{4}$$

η_{\min} – мінімально досяжна за даного рівня розвитку техніки інтенсивність погіршення визначального параметра, яка не може бути зменшеною подальшим нарощуванням витрат; η_0 – інтенсивність погіршення визначального параметра без проведення цілеспрямованих профілактичних заходів з підтримки БП; ξ – ефективність використання профілактичних витрат з підтримки БП;

Швидкість отримання прибутку V_p і швидкість витрат коштів АТС на оподаткування й експлуатацію V_r визначають за формулами:

$$V_p = V_d - V_r;$$

$$V_r = V_t + V_e.$$

Результати розрахунків значень критерію безпеки показано на рис. 1 для умовних числових значень величин у формулах (1)–(4):

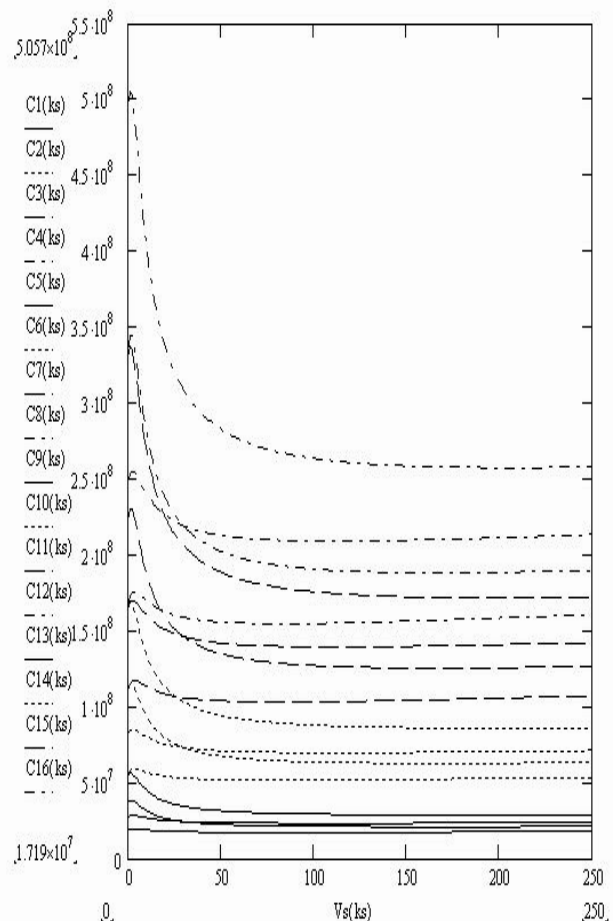


Рис. 1. Математичне сподівання витрат за термін t_k залежно від $a, b, n, \Delta r$:

- C1(ks), C5(ks), C9(ks), C13(ks);
- C2(ks), C6(ks), C10(ks), C14(ks);
- C3(ks), C7(ks), C11(ks), C15(ks);
- C4(ks), C8(ks), C12(ks), C16(ks);

$t_k=10^5$; $\lambda_0=10^{-4}$; $\lambda_{\min}=10^{-5}$; $\alpha=0,8$; $k_t=0,25$; $k_e=0,5$;
 $V_d = 10^3$; $k_s = 0, \frac{4V_p}{250} 10^{-4} \dots 1$; $n = 1, 2$;

$\Delta r = 18 \cdot 10^7, 27 \cdot 10^7$; $\eta_0=10^{-2}$; $\eta_{\min}=10^{-3}$; $\xi=0,2$;
 $P_0=1$; $\tau_n = 1$; $\tau_p = 4$; $\tau = 170$; $a_i=1 \cdot 10^{-1}, 3 \cdot 10^{-1}$;
 $6 \cdot 10^{-1}, 9 \cdot 10^{-1}$.

Комплексний критерій математичного сподівання витрат за термін часу t_k як функцію від V_s визначали з урахуванням КТВ і вагових коефіцієнтів a та b :

$$C_i(V_s) = a_i A(V_s) - b_i n K_{т.в.}(V_s).$$

Графіки $C1(k_s) \dots C4(k_s)$ побудовано для значень $n=1$, $\Delta r=18 \cdot 10^7$, $C5(k_s) \dots C8(k_s) - n=1$, $\Delta r=18 \cdot 10^7$, $C9(k_s) \dots C12(k_s) - n=2$, $\Delta r=18 \cdot 10^7$, $C13(k_s) \dots C16(k_s) - n=2$, $\Delta r=27 \cdot 10^7$.

На рис. 1. залежності $C(k_s)$ від $V_s(k_s)$ зображено з 1 до 16 знизу вверх.

Параметричне дослідження впливу вагових коефіцієнтів параметрів α та ξ на критерії безпеки

Коефіцієнти α та ξ у формулах (3), (4) застосовують для розрахунку частот $\lambda(V_s)$ та $\eta(V_s)$. Вони також враховують ефективність використання коштів, які витрачаються на підтримання рівня БП. Значення параметрів α і ξ залежать від інтенсивності процесу керування АТС, якому відповідає певна швидкість відрахувань коштів V_s . Доречно застосовувати відповідні функції ефективності заходів з метою утримання рівня БП в прийнятних межах:

$$\alpha = \alpha(V_s); \tag{5}$$

$$\xi = \xi(V_s). \tag{6}$$

Крім того, оскільки керування АТС залежить від швидкості вкладення коштів і впливає на формування частоти погіршення визначальних параметрів $\eta(V_s)$, неминує зменшується частота потоку катастрофічних подій. Звідки впливає умова нормування

$$\alpha(V_s) + \xi(V_s) = 1. \tag{7}$$

Внутрішній розподіл ефективності між функціями $\alpha = \alpha(V_s)$ і $\xi = \xi(V_s)$ підпорядковується закономірності зростання долі $\alpha = \alpha(V_s)$ за умови збільшення V_s , але в певних межах. За модель прийнято диференціальне рівняння кінетики першого порядку, коли деякому однаковому за величиною приросту $V_s = V_{s0}$ відповідає певний відсоток збільшення ефективності $\alpha = \alpha(V_s)$ – Pr щодо величини α у тій частині, яка реагує на

збільшення інтенсивності керування, тобто від α_0 до α_{\max} .

За таких умов коефіцієнт пропорційності k визначають за формулою:

$$k = -\frac{1}{V_{s0}} \ln\left(1 - \frac{Pr}{100}\right). \tag{8}$$

Для розрахунків критерію безпеки використували формули (2)–(8), а також рівняння

$$\alpha(V_s) = \alpha_{\max} - (\alpha_{\max} - \alpha_0) e^{-k \cdot V_s}. \tag{9}$$

Результати попереднього розрахунку для умовних числових значень величин, у формулах (2)–(9) $a=9 \cdot 10^{-1}$, $V_{s0} = 10$, $Pr = 5, 7, 9 \dots 21$ показано на рис. 2.

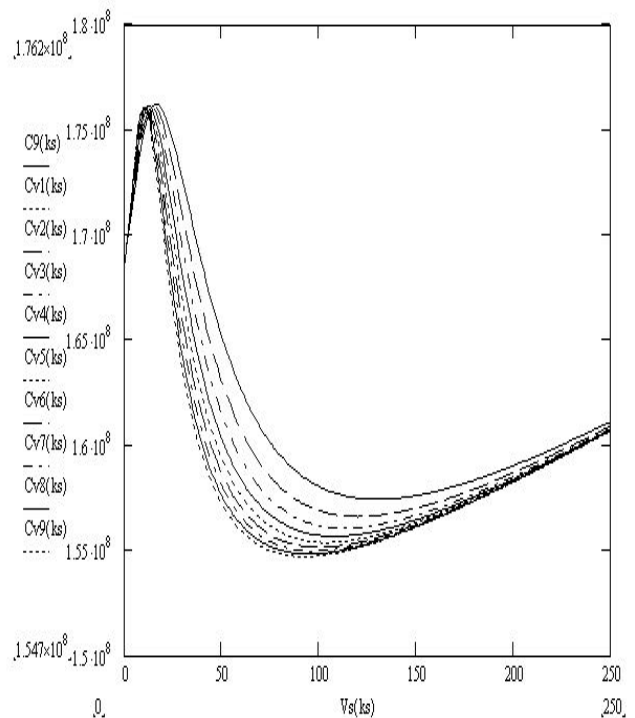


Рис. 2. Математичне сподівання витрат за термін t_k залежно від Pr :

- $C9(k_s), C4(k_s), C8(k_s)$;
- $Cv1(k_s), Cv5(k_s), Cv9(k_s)$;
- $Cv2(k_s), Cv6(k_s)$;
- $Cv3(k_s), Cv7(k_s)$

Комплексний критерій математичного сподівання витрат за термін часу t_k як функції від V_s визначали з урахуванням значень $A_i(V_s)$, $K_{т.в.}(V_s)$, які залежать від величини Pr_i :

$$Cv_i(V_s) = a A_i(V_s) - b n K_{т.в.}(V_s).$$

Графіки побудовано для значень $n=1$, $\Delta r=18 \cdot 10^7$ залежність $C9(k_s)$ збігається із $Cv1(k_s)$, відповідає $C4(k_s)$ рис. 1 і побудовано для $Pr = 5$.

На рис. 2 залежності подано з 1 до 10 зверху вниз.

Порівняння результатів параметричного дослідження

На рис. 1 графіки розташовуються так, що залежності $C1(ks) \dots C4(ks)$, побудовані для значень $n=1$, $\Delta r=18 \cdot 10^7$, переходять незначний екстремум, значення якого, як абсолютне так і відносне, збільшується зі зростанням ваги чистого математичного сподівання втрат.

Зі збільшенням величини можливих разових втрат до значення $\Delta r=27 \cdot 10^7$ за тих самих умов спостерігається зростання величини комплексного критерію разом зі збільшенням величини оптимальних інвестицій в заходи підтримання БП. Значення $V_{S_{opt}}$ зростає від 80...90 $C1(ks) \dots C4(ks)$ до 120...140 для залежностей $C5(ks) \dots C8(ks)$.

У разі, коли значення $n=2$, відбувається більш різка екстремалізація критерію разом зі зростанням значень $V_{S_{opt}}$ від 160...170 $C9(ks) \dots C12(ks)$, $\Delta r=18 \cdot 10^7$ до 200 для залежностей $C13(ks) \dots C16(ks)$, $\Delta r=27 \cdot 10^7$.

На другому етапі досліджень, коли розглядаються $\alpha = \alpha(V_s)$ і $\xi = \xi(V_s)$ з ростом значень P_i , коли збільшується $\alpha(V_s)$, значення $Cv_i(V_s)_{opt}$ і $V_{S_{opt}}$, зменшуються (рис. 2), тобто відбувається процес, протилежний виявленому на першому етапі досліджень. Така картина характерна для кожної залежності $C_i(V_s)$ на рис. 1.

Висновки

Запропоновані підхід до розрахунку критерію безпеки і алгоритм враховують фактори, що впливають на величину комплексного критерію безпеки і дозволяють досліджувати їхній вплив на математичне сподівання втрат за розрахунковий термін. На даному етапі досліджень з'ясовано, що графік залежності (2) принципово для будь-яких значень параметрів має вигляд, зображений на рис. 2.

Більш яскравий екстремум для залежностей з більшим значенням математичного сподівання втрат свідчить про необхідність ретельніше підходити до прийняття рішень, які в результаті впливатимуть на остаточні показники цільового функціонування об'єкта, що знаходиться під впливом дії небажаних факторів.

Про це свідчить наявність двох екстремумів комплексного критерію. Тобто за певних умов в експлуатації можуть виникнути ситуації, коли суттєвим є не просто збільшення інтенсивності керування. За умови недостатнього рівня швидкості відрахувань коштів, що спрямовуються на підтримання БП, можливим є максимальне значення математичного сподівання втрат.

Структура критерію БП передбачає оцінку впливу на нього факторів, що викликають протилежні зміни положення оптимальних значень впливу керування. Завдяки цьому можливим є реалізація концепцій, які передбачають неодноразовість наслідків упровадження дії відповідних суттєвих елементів керування.

Список літератури

1. *Игнатов В.А., Маньшин Г.Г., Костановский В.В.* Элементы теории оптимального обслуживания технических изделий. – Минск: Наука и техника, 1974. – 192 с.
2. *Жулев В.И., Иванов В.С.* Безопасность полетов летательных аппаратов (Теория и анализ). – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.
3. *Касьянов В.А., Гончаренко А.В.* Оценка характеристик функционирования системы в условиях допускающих возникновение техногенных катастроф // Сучасні авіаційні технології: Матеріали IV міжнарод. наук. – техн. конф. "Авіа-2002". – Т. 3. – К.: НАУ, 2002. – Ст. 31.23–31.26.
4. *Касьянов В.А., Гончаренко А.В.* Визначення оптимальної швидкості витрат ресурсів, які спрямовуються безпосередньо на підтримку безпеки польотів // Виробництво та експлуатація авіаційної техніки: Матеріали V міжнар. наук. – техн. конф. "Авіа-2003". – Т.3. – К.: НАУ, 2003. – Ст. 31.7–31.11.

Стаття надійшла до редакції 30.03.04.

В.А. Касьянов, А.В. Гончаренко

Параметрические исследования комплексного технико-экономического критерия безопасности

Рассмотрено общее влияние параметров весовых коэффициентов на величину комплексного технико-экономического критерия безопасности. Приведены формулы расчета отдельных промежуточных показателей, используемых на соответствующих этапах исследований, математической модели критерия безопасности

V.A. Kasjanov, A.V. Goncharenko

The parameter research of a complex technical-economical criterion of safety

The general influence of parameters on the value magnitude of a complex technical-economical criterion of safety is considered. It is adduced formulas for calculation of specific intermediate characteristics, which are used at corresponding stages of the exploration realization.