

## СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

УДК 621.396.967 (045)

0571.5-51-082.0518647

О.В. Зуєв

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНТРОЛЬНО-РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ НАЗЕМНИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

*Одержано аналітичний вираз для оцінки ефективності операцій контролю та регулювання багатопараметричних наземних радіоелектронних засобів на підставі аналізу стохастичного графа, що характеризує взаємозв'язок досліджуваних операцій. Зроблено висновок про практичну незалежність ефективності контрольно-регулювальних операцій від коефіцієнту кореляції контрольованих параметрів. Ефективність цих операцій у значній мірі залежить від значень припущень для контрольованих параметрів та точності вимрювальних засобів.*

У результаті контролю технічного стану наземних радіоелектронних засобів (НРЕЗ) можуть бути прийняті рішення про необхідність реалізації керуючих впливів за параметрами, що характеризують технічний стан НРЕЗ. Метою виконання керуючих впливів є зведення значень регульованих параметрів, які контролюються, до номінальних значень. Необхідність керуючих впливів полягає в забезпеченні потрібного рівня надійності НРЕЗ, що може бути досягнутий у результаті запобігання відмов НРЕЗ регулюванням параметрів до меж допустимих значень, а також відновленням НРЕЗ, які відмовили, локалізацією місця відмови під час реалізації операцій контролю.

Очевидно, що ефективність процесів запобігання відмов і відновлення працездатності доцільно оцінювати з урахуванням характеристик якості операцій контролю, які є інформаційною основою для прийняття рішень і операцій регулювання. Для оцінки ефективності контрольно-регулювальних операцій  $W$  використаємо вираз [1]:

$$W = \frac{1}{1 - D_m P_{зп}},$$

де  $D_m$  – методична складова достовірності контролю параметрів;  $P_{зп}$  – імовірність запобігання відмов.

У практиці експлуатації НРЕЗ, поряд із запобіганням відмов, можливі ситуації, що характеризуються внесенням відмов. Тому показник ефективності контрольно-регулювальних операцій подається у вигляді:

$$W = \frac{1}{1 - D_m (P_{зп} - Q_{вн})},$$

де  $Q_{вн}$  – імовірність внесення відмов.

У результаті аналізу стохастичного графа, що характеризує взаємозв'язок операцій контролю і регулювання, вираз [2] буде мати вигляд:

$$W = \frac{1}{1 - D_m \left[ \left( 1 - \frac{B}{1-P} \right) g - \frac{A}{P} (1-g) \right]}, \quad (1)$$

де  $B$  – імовірність ухвалення рішення про перебування непрацездатного параметра у стані працездатності за результатами його контролю;  $P$  – імовірність знаходження контрольованого параметра у стані працездатності;  $g$  – імовірність перебування параметра у

стані працездатності у результаті виконання операції регулювання;  $A$  – імовірність ухвалення рішення про перебування параметра у стані працездатності за результатами контролю, якщо в дійсності він перебуває за межами стану працездатності.

Методична складова достовірності контролю  $D_M$  визначається повнотою контролю  $n$  параметрів із загальної сукупності контрольованих параметрів, що визначають працездатність НРЕЗ [2]:

$$V = \int_{d_{n(n+1)}}^{d_{n(n+1)}} \dots \int_{d_{nN}}^{d_{nN}} f(\xi_{n+1}, \xi_{n+2}, \dots, \xi_N) d\xi_{n+1}, \dots, d\xi_N,$$

де  $d_{n(n+1)}$ ,  $d_n$ ,  $d_{n(n+1)}$ ,  $d_n$  – нижні і верхні граничні значення допусків на відповідні параметри;  $n$  – кількість контрольованих параметрів НРЕЗ;  $N$  – загальна кількість параметрів, що визначають працездатність НРЕЗ;  $f(\xi_{n+1}, \xi_{n+2}, \dots, \xi_N)$  – щільності розподілу імовірностей неконтрольованих параметрів.

За умови незалежності контрольованих параметрів оцінка ефективності НРЕЗ, технічний стан який визначається множиною параметрів (багатопараметричних НРЕЗ), здійснюється відповідно до виразу:

$$W = \frac{1}{\left\{ 1 - \prod_{i=n+1}^N P_i \left[ \left[ \prod_{i=1}^n \left( 1 - \frac{B_i}{1 - P_i} \right) \prod_{i=1}^n P_i \right] - \left[ 1 - \prod_{i=1}^n \left( 1 - \frac{A_i}{P_i} \right) \right] \left( 1 - \prod_{i=n+1}^N P_i \right) \right\}}}$$

Для багатопараметричних НРЕЗ, працездатність яких визначається залежними параметрами, розглянемо вплив кореляційної залежності між контрольованими параметрами на ефективність контрольно-регулювальних операцій.

Якщо закони розподілу параметрів і похибок їх вимірювання є нормальними, то вираз щільності розподілу для будь-якого числа  $n$  параметрів має вигляд [3]:

$$f(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) = \frac{\sqrt{|C_\xi|}}{(\sqrt{2\pi})^n} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{\xi_{ij}} (\xi_i - m_{\xi_i}) (\xi_j - m_{\xi_j}) \right\},$$

де  $|C_\xi|$  – визначник матриці  $\|C_\xi\|$ , оберненої кореляційної матриці  $\|K_\xi\|$ ;  $m_{\xi_i}$ ,  $m_{\xi_j}$  – математичні сподівання контрольованих параметрів.

Для зручності подальших розрахунків розглянемо випадок двопараметричних НРЕЗ ( $n = 2$ ). У даному випадку, припускаючи  $m_{\xi_i} = 0$ , вираз [2] буде мати вигляд:

$$f(\xi_1, \xi_2) = \frac{1}{2\pi \xi_1 \xi_2 \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ \frac{1}{2(1-r^2)} \left[ \frac{\xi_1^2}{2\sigma_{\xi_1}^2} - 2r \frac{\xi_1 \xi_2}{\sigma_{\xi_1} \sigma_{\xi_2}} + \frac{\xi_2^2}{\sigma_{\xi_2}^2} \right] \right\},$$

де  $r$  – коефіцієнт кореляції параметрів  $\xi_1$  і  $\xi_2$ .

Для подальших міркувань введемо такі позначення:  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  – допустимі значення на контрольовані параметри;  $x_1 = \frac{b_1}{\sigma_{\xi_1}}$ ;  $x_2 = \frac{b_2}{\sigma_{\xi_2}}$  – нормовані допуски;  $k$  – коефіцієнт несиметрії поля допуску;  $m_\xi$ ,  $m_\tau$  – математичні сподівання параметрів і похибок їх вимірювання;  $C = \frac{m_\tau}{\sigma_\xi}$  – нормована систематична похибка контролю;  $t_i = \frac{\tau_i - m_{\tau_i}}{\sigma_{\tau_i}}$  –

центровані значення похибки контролю;  $z = \frac{\tau_i - C_i}{\sigma_{\tau_i}}$  – нормована середньоквадратична

похибка контролю.

Відповідно до прийнятих позначень, імовірність знаходження двопараметричного НРЕЗ у стані працездатності  $P$  визначається з виразу:

$$P = \int_{a_1}^{a_2} \int_{b_1}^{b_2} f(\xi_1, \xi_2) d\xi_1 d\xi_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-r^2}} \int_{-kx_1}^{x_1} \int_{-kx_2}^{x_2} \exp\left\{-\frac{1}{2\pi\sqrt{1-r^2}} [\xi_1^2 - 2r\xi_1\xi_2 + \xi_2^2]\right\} d\xi_1 d\xi_2. \quad (3)$$

Межі інтегрування у виразі (3) знайдемо, здійснив заміну змінних [3]:

$$\begin{cases} \xi_1 = U_1; \\ \xi_2 = \sqrt{1-r^2}\tau + rU \end{cases}$$

Тоді

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2\pi} \int_{-kx_1}^{x_1} \int_{\frac{-kx_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}}^{\frac{x_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-r^2)} [U^2 - 2rU\sqrt{1-r^2}\tau - 2r^2U^2 + (1-r^2)\tau^2 + 2rU\sqrt{1-r^2}\tau + r^2U^2]\right\} dU d\tau = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-kx_1}^{x_1} \int_{\frac{-kx_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}}^{\frac{x_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}} \exp\left\{-\frac{1}{2}[U^2 + \tau^2]\right\} dU d\tau. \end{aligned}$$

Використовуючи отримані в роботах [4; 5] вирази для оцінки імовірностей прийняття помилкових рішень у процесі контролю  $A$  і  $B$  та здійснив заміну змінних, одержуємо вирази, що визначають залежність імовірностей  $A$  і  $B$  від коефіцієнту кореляції контрольованих параметрів  $r$ :

$$\begin{aligned} A(r) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-kx_1}^{x_1} \int_{\frac{-kx_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}}^{\frac{x_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}} \exp\left\{-\frac{1}{2}[U^2 + \tau^2]\right\} dU d\tau - \\ &- \frac{1}{4\pi} \int_{-kx_1}^{x_1} \int_{\frac{-k_2x_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}}^{\frac{x_2-rU}{\sqrt{1-r^2}}} \exp\left\{-\frac{1}{2}[U^2 + \tau^2]\right\} \int_{\frac{-k_1x_1-U-C_1}{Z_1}}^{\frac{x_1-U-C_1}{Z_1}} \exp\left(-\frac{t_1^2}{2}\right) dt_1 \int_{\frac{-k_2x_2-\sqrt{1-r^2}\tau-tU-C_2}{Z_2}}^{\frac{x_2-\sqrt{1-r^2}\tau-tU-C_2}{Z_2}} \exp\left(-\frac{t_2^2}{2}\right) dt_2 dU d\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

На рис. 1 наведені графіки залежностей  $A(r)$  і  $B(r)$ , розраховані для різних значень  $x$  і  $z$  у відповідності до формули (4). Для зручності розрахунків нехай  $z_1 = z_2$ ,  $x_1 = x_2$ .

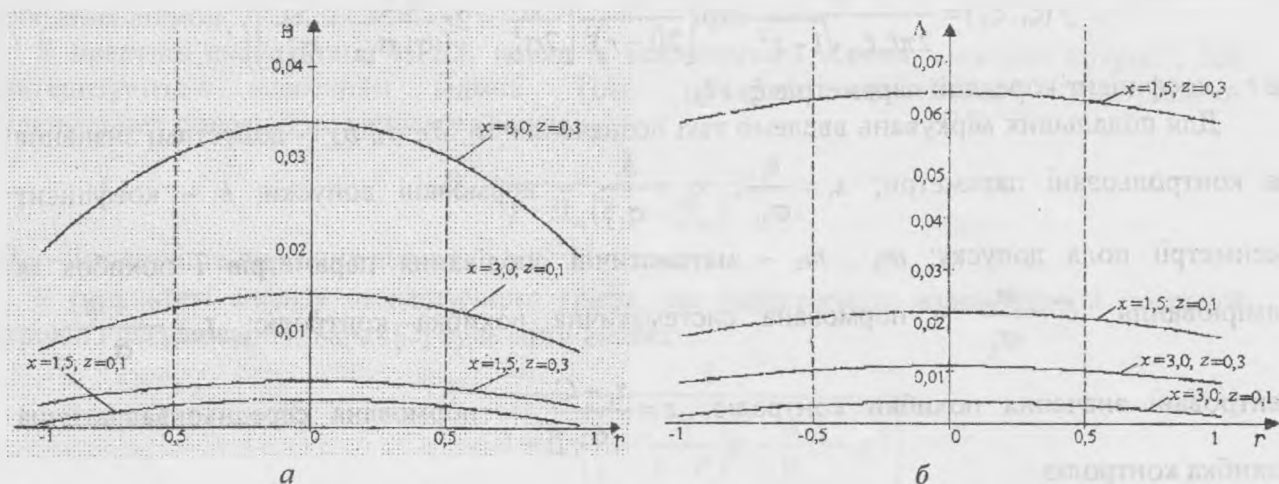


Рис. 1. Залежності імовірності  $B(a)$  і  $A(b)$  від коефіцієнту кореляції параметрів  $r$

Результати розрахунків  $A(r)$ ,  $B(r)$  використовуємо для побудови залежності ефективності контрольно-регулювальних операцій від розміру коефіцієнта кореляції параметрів відповідно до виразу (1). Графіки залежності  $W=f(r)$  для різних  $x_1, x_2, z_1, z_2$  подані на рис. 2.

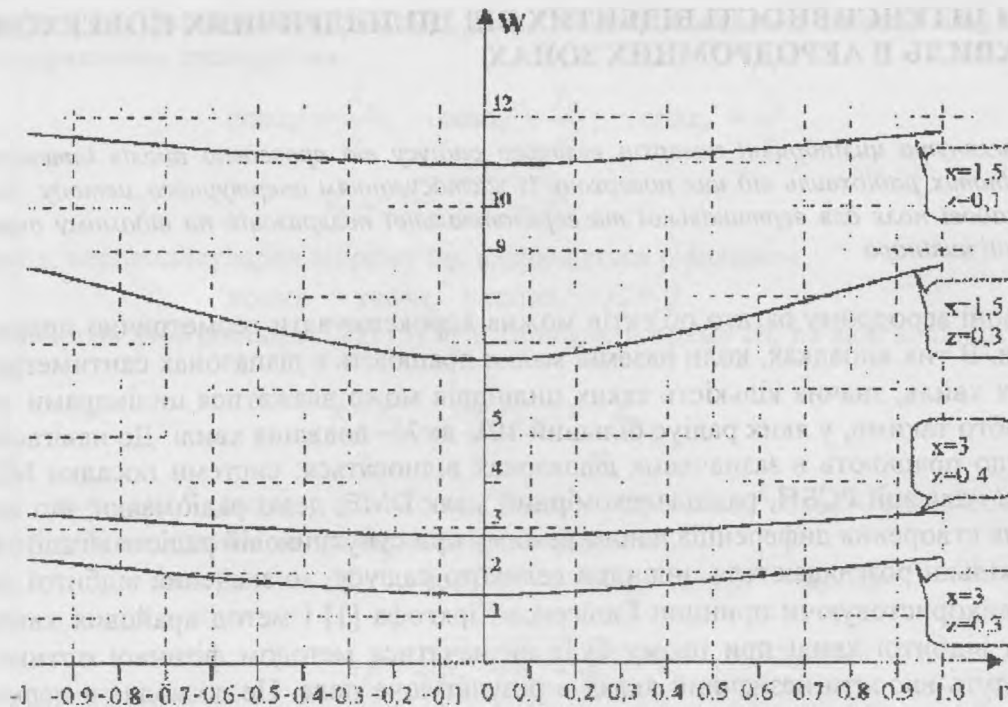


Рис. 2. Залежності ефективності контрольно-регулювальних операцій  $W$  від коефіцієнта кореляції параметрів

Отримані графіки дозволяють зробити висновок про те, що при незначній залежності контрольованих параметрів ефективність контрольно-регулювальних операцій багатопараметричних НРЕЗ практично не залежить від коефіцієнта кореляції параметрів. Ефективність даних операцій значною мірою залежить від обраних допустимих значень для контрольованих параметрів, а також від класу точності вимірювальних засобів, що застосовуються.

### Список літератури

1. Новиков В.С. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. – М.: Транспорт, 1987. – 261 с.
2. Зуев А.В. Оценка объективности принимаемых решений о техническом состоянии радиотехнических объектов в условиях ограниченного информационного доступа // Защита информации: Сб. науч. тр. – К.: КМУГА, 1998. – С. 144–150.
3. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, – 1969. – 576 с.
4. Белоконь Р.Н., Скрипник В.М. Основы теории контроля. – Минск: Высш. воен. инж. зенитно-ракетное училище, 1987. – 152 с.
5. Новиков В.С., Белоконь В.М., Зуев А.В. Анализ информационных свойств наземных средств радиотехнического обеспечения полетов с позиций защиты информации // Повышение эффективности систем защиты информации. – К.: КМУГА, 1997. – С. 25–30.

Стаття надійшла до редакції 10.04.01.