



Ефективність і раціональність системи технічного обслуговування (ТО) радіоелектронних засобів (РЕЗ) зазвичай визначають, використовуючи техніко-економічний критерій витрат експлуатації (середнього ризику), тобто витрат на експлуатаційні роботи з урахуванням імовірностей виникнення необхідності їхнього проведення. Оцінювання експлуатаційних витрат за різних стратегій ТО ускладнюється необхідністю врахування фактора багатоальтернативності умов визначення станів технологічної системи (ТС) РЕЗ за результатами контрольних процедур. Разом з тим прийняття рішення за будь-яких стратегій зводиться до простої схеми – проводити або не проводити керуючі впливи. У випадку прийняття рішення про їхнє проведення визначається час і форма роботи (регулювальні або контрольновідновлювальні). При цьому поруч з оцінюванням трудомісткості цих робіт мають ураховуватися невиробничі витрати внаслідок помилкової класифікації станів ТС РЕЗ і втрати, пов'язані з виведенням РЕЗ із системи РТЗ на строк проведення робіт.

Сумарні витрати на створення й експлуатацію засобів РТЗ обслуговування ПР (ОПР) з урахуванням особливостей РТЗ в конкретній зоні ПР можна уявити у вигляді:

$$C_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^{N_E} (C_{k_i}(z) + C_{Ei}(z, t)),$$

де  $N_E$  – кількість РТЗ системи;  $C_{k_i}(z)$  – сумарні витрати на створення (придбання)  $i$ -го засобу РТЗ;  $z$  – вектор вихідних параметрів  $i$ -го РТЗ системи;  $C_{Ei}(z, t)$  – середні витрати, пов'язані з експлуатацією  $i$ -го РТЗ ОПР протягом часу  $t$ .

У загальному вигляді середні витрати протягом експлуатації РТЗ ОПР можна розкласти на складові:

- середні витрати на ТО  $C_{TO}(z, t)$ ;
- витрати внаслідок порушення регулярності ПР з вини РТЗ протягом експлуатації засобів РТЗ ОПР  $C_n(z, t)$ .

Виведення з ладу РТЗ – однієї з основних інформаційних ланок систем керування польотами – навіть на нетривалий час вносить певну напруженість у контури керування систем контролю ПР, що часто визначає переведення аеропорту на більш низьку категорійність (зміна мінімуму посадки), а в деяких випадках його закриття. Це, природно, призводить до порушення регулярності польотів. Частина повітряних кораблів (ПК), що знаходяться в районі аеропорту, з екіпажами, кваліфікація яких не відповідає вимогам зміненої категорії (мінімуму) аеропорту посадки (або всіх ПК при його закритті) можуть бути відправлені до запасного аеродрому. Крім того, деяка кількість ПК затримуються з вильотом в інших аеропортах. Все це призводить до додаткових економічних втрат.

Оцінка втрат у повному обсязі внаслідок невчасного виконання запланованих рейсів пов'язана з великими труднощами. Навіть для наближеного розрахунку їхніх розмірів потрібне збирання й обробка величезної кількості різних статистичних даних, наприклад, економічних, соціологічних і психологічних аспектів польоту кожного пасажира і членів екіпажів, кількості, асортименту і цільового призначення перевезених вантажів тощо. Обмежимося оцінкою економічних втрат авіапідприємства внаслідок порушення регулярності польотів приписних ПК через виведення засобів РТЗ з ланок керування польотами для проведення відновлювальних робіт. Вираз для оцінки втрат через невиконання заявок приписних ПК на РТЗ унаслідок виведення засобів РТЗ з ланок керування польотами і порушення регулярності польотів можна подати у вигляді

$$C_n(z, t) = \sum_{i=1}^{N_T} N_{pi} P_B(t) P_k(t) P_{Ai}(t) \left( \sum_{j=1}^{N_i} (C_{1j} t_{1j} + C_{m_j} t_{Cj}) + \sum_{m=1}^{M_{B_i}} \sum_{j=1}^{N_{B_i}} C_{mj} t_{B_{ij}} \right),$$

де  $N_T$  – кількість типів ПК;  $N_{pi}$  – кількість рейсів  $i$ -го типу ПК;  $P_B(t)$  – імовірність виникнення заявки на контрольновідновлювальні роботи з виведенням засобів з ланок РТЗ;  $P_k(t)$  – імовірність зниження категорії (або закриття) аеропорту внаслідок виведення засобів РТЗ із ланок керування польотами;  $P_{Ai}(t)$  – імовірність випадку невідповідності кваліфікації екіпажів

$i$ -го типу ПК, що виконують рейсові польоти, вимогам категорії (мінімуму) аеропорту;  $C_{ij}$  – вартість льотного часу  $i$ -го типу ПК;  $t_{ij}$  – час перебування  $j$ -го ПК  $i$ -го типу в повітрі при польоті до запасного аеропорту і зворотно;  $C_{mi}$  – вартість стоянки ПК  $i$ -го типу в запасному аеропорту за одиницю часу;  $t_{cij}$  – час перебування  $j$ -го ПК  $i$ -го типу в запасному аеропорту;  $N_i$  – кількість ПК  $i$ -го типу, відправлених до запасного аеропорту;  $M_{B_i}$  – кількість аеропортів вильоту ПК  $i$ -го типу;  $N_{B_i}$  – кількість ПК  $i$ -го типу, затриманих в аеропорту вильоту;  $C_{mi}$  – вартість стоянки ПК  $i$ -го типу в аеропорту вильоту за одиницю часу;  $t_{Bij}$  – час затримки  $j$ -го ПК  $i$ -го типу в запасному аеропорту.

Середні витрати, пов'язані з експлуатацією  $i$ -го засобу РТЗ ОПР протягом часу  $t$ , залежать від стратегії ТО з контролем параметрів.

У дослідженнях стратегії з контролем параметрів за двохальтернативного оцінювання її результатів фазовий простір можливих станів ТС РЕЗ з урахуванням меж допусків  $[a, b]$  параметрів обмежується двома областями:  $H_r$  – «Придатний стан»,  $H_o$  – «Відмова» (рис. 1, а).

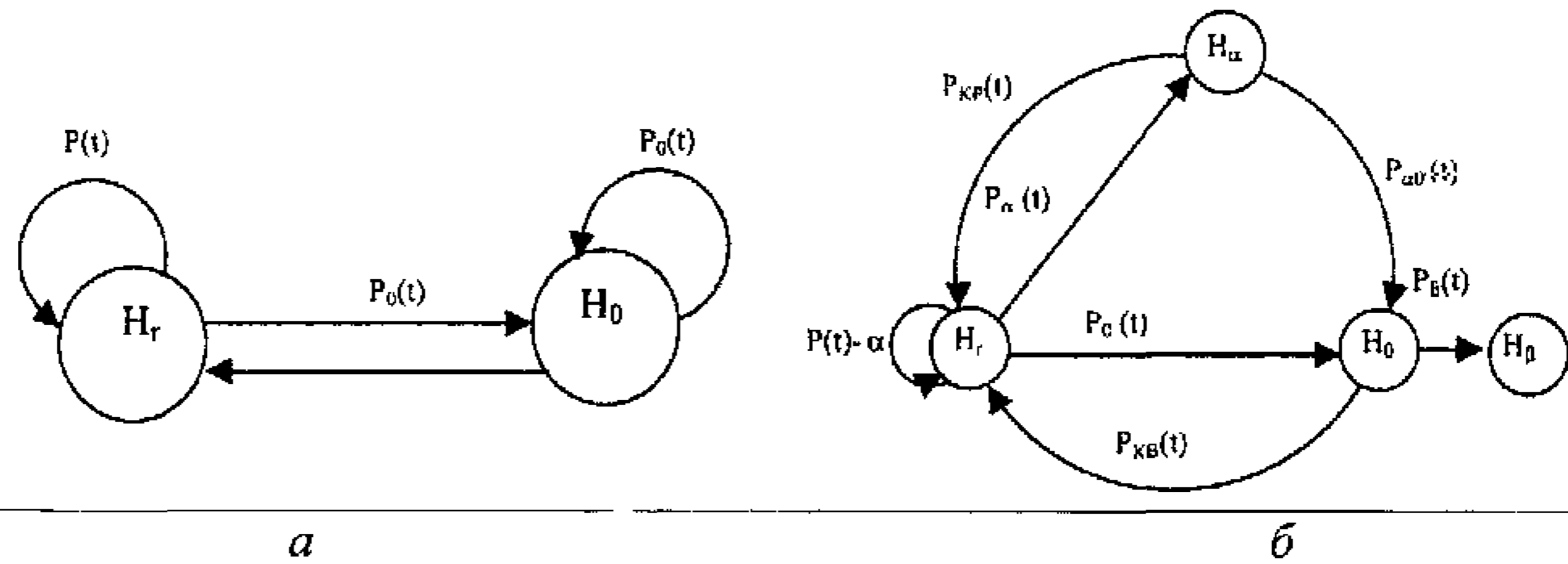


Рис. 1. Граф переходів станів ТС РЕЗ при двохальтернативній класифікації:  $\alpha = \beta = 0$  (а),  $\alpha > 0, \beta > 0$  (б)

З урахуванням помилок контрольних процедур фазовий простір станів ТС РЕЗ можна поділити на чотири області:  $H_r$  – «Придатний стан»,  $H_o$  – «Відмова»,  $H_\alpha$  – помилково виявлена відмова,  $H_\beta$  – невиявлена відмова (рис. 1, б).

Прийнята стратегія із трьохальтернативною процедурою контролю параметрів, яка передбачає трьохальтернативну класифікацію станів ТС РЕЗ: «Придатний стан»–«Погіршення»–«Відмова» (рис. 2, а). За результатами контролю беруть одне з трьох рішень про поточний стан ТС РЕЗ:  $H_r$  – «Придатний стан»,  $H_y$  – «Передвідмовний стан»,  $H_o$  – «Відмова».

З урахуванням наявності помилок контролю кількість областей у фазовому просторі можливих станів ТС РЕЗ зміниться (рис. 2, б):  $H_r$  – «Придатний стан»,  $H_y$  – «Передвідмовний стан»,  $H_o$  – «Відмова»,  $H_\alpha$  – помилково виявлена відмова,  $H_\beta$  – невиявлена відмова.

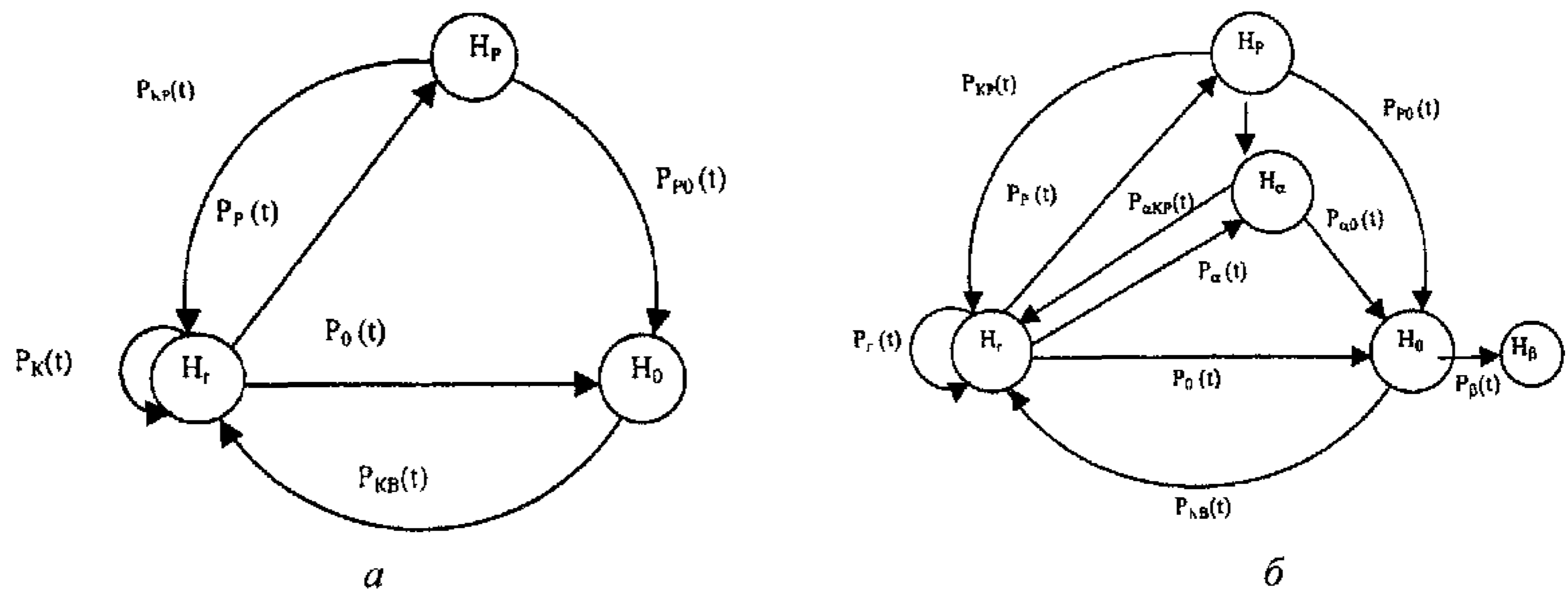


Рис. 2. Граф переходів станів ТС РЕЗ при трьохальтернативній класифікації:  $\alpha = \beta = 0$  (а),  $\alpha > 0, \beta > 0$  (б)

$$\begin{aligned}
C_{\Sigma} = & \sum_{i=1}^n C_{K_i} \left( \int_a^b f(x_i) dx_i - \left( \int_a^{a_i} f(x_i) \left( \int_{-\infty}^{b-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i + \int_{b-x_i}^{\infty} \varphi(\tau_i) d\tau_i \right) dx_i \right) + \right. \\
& + C_{KB_i} \left( 1 - \int_a^{b_i} f(x_i) dx_i - \left( \int_{-\infty}^{a_i} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_i}^{\infty} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i \right) \right) + \\
& + C_{\beta_i} \left( \int_a^{a_i} f(x_i) \int_{b_i-x_i}^{\infty} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_i}^{\infty} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i \right) + \\
& + C_{\alpha} \int_{a_i}^{b_i} f(x_i) \left( \int_{-\infty}^{a_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i + \int_{b_i-x_i}^{\infty} \varphi(\tau_i) d\tau_i \right) dx_i + \left( \sum_{j=1}^{N_i} (C_{li} t_{li,j} + C_{mi} t_{mi,j}) + \right. \\
& + \sum_{m=1}^{M_{Bi}} \sum_{j=1}^{N_{Bi}} C_{mi} t_{Bi,j} \left. \right) \left( \int_a^{b_i} f(x_i) \left( \int_{-\infty}^{a_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i + \int_{b_i-x_i}^{\infty} \varphi(\tau_i) d\tau_i \right) dx_i \right) + \\
& + \left( 1 - \int_a^{b_i} f(x_i) dx_i - \left( \int_{-\infty}^{a_i} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_i}^{\infty} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i \right) \right),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{\Sigma} = & \sum_{i=1}^n \left( C_{K_i} \int_{a+a_{ii}}^{b_i-b_{ii}} f(x_i) dx_i + C_{KP_i} \left( \int_a^{a_{ii}} f(x_i) dx_i + \int_{a_{ii}}^b f(x_i) dx_i \right) \right) + \\
& \int_{b-b_{ii}}^{a_{ii}} f(x_i) dx_i + \int_{b_i}^{a_i-x_i} f(x_i) dx_i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+C_{\alpha_i} \left( \int_{a_i}^{a_{\Pi}} f(x_i) \int_{-\infty}^{a_i-x_i} (\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_{\Pi}}^{b_i} f(x) \int_{b_i-x_i}^{\infty} (\tau_i) d\tau_i dx_i \right), + \\
 &+C_{\beta_i} \left( \int_{-\infty}^{a_i} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_{ii}}^{\infty} f(x_i) \int_{a_i-x_i}^{b_i-x_i} \varphi(\tau_i) d\tau_i dx_i \right) + \\
 &+ \left( \sum_{j=1}^{N_i} (C_{l_i} t_{l_{ij}} + C_{m_i} t_{c_{ij}}) + \sum_{m=1}^{M_{B_i}} \sum_{j=1}^{N_{B_i}} C_{m_i} t_{B_{ij}} \right) \left( \int_a^{a_{\Pi}} f(x_i) dx_i + \int_{b_{\Pi}}^b f(x_i) dx_i + \right. \\
 &+ \int_a^{a_{\Pi}} f(x_i) \int_{-\infty}^{a_i-x_i} (\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_{\Pi}}^b f(x) \int_{b_i-x_i}^{\infty} (\tau_i) d\tau_i dx_i \left. \right) + \\
 &+ 1 - \left( \int_{a+a_{\Pi}}^{b_i-b_{\Pi}} f(x_i) dx_i + \int_a^{a_{\Pi}} f(x_i) \int_{-\infty}^{a_i-x_i} (\tau_i) d\tau_i dx_i + \int_{b_{\Pi}}^b f(x) \int_{b_i-x_i}^{\infty} (\tau_i) d\tau_i dx_i \right).
 \end{aligned}$$

Розглянуті методи оцінювання витрат, спрямовані на підтримку й у випадку втрати відновлення необхідного рівня якості функціонування засобів РТЗ ПР, можна використовувати з визначеним обсягом статистичних даних. Проте при виборі і впровадженні нових систем через відсутність статистичних даних можна скористатися методами залучення експертних систем [2]. При виборі засобів РТЗ одним з елементів переваги має бути порівняно невеликий рівень витрат на підтримку визначальних параметрів, які впливають на ефективність використання у системі РТЗ. Розглянемо один із засобів розв'язання задачі на основі експертних оцінок із використанням теорії нечітких множин [3].

Оцінки  $m$  експертів  $x \in X$  ступеня впливу вихідних параметрів  $y \in Y$  на ефективність функціонування системі РТЗ і оцінки величин відповідних експлуатаційних витрат  $c \in C_n$  подамо у вигляді нечітких відношень  $zRy$  і  $cSy$  із функціями приналежності відповідно:

$$\mu_R(x, y) \rightarrow |0, 1|, \mu_S(x, c) \rightarrow |0, 1|;$$

$$R = \begin{matrix} \supset & y_1 & y_2 & y_3 & y_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_n \end{matrix} & \left| \begin{matrix} \mu_R(x_1, y_1) & \mu_R(x_1, y_2) & \mu_R(x_1, y_3) & \mu_R(x_1, y_n) \\ \mu_R(x_2, y_1) & \mu_R(x_2, y_2) & \mu_R(x_2, y_3) & \mu_R(x_2, y_n) \\ \mu_R(x_3, y_1) & \mu_R(x_3, y_2) & \mu_R(x_3, y_3) & \mu_R(x_3, y_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_R(x_n, y_1) & \mu_R(x_n, y_2) & \mu_R(x_n, y_3) & \mu_R(x_n, y_n) \end{matrix} \right. \end{matrix}; \tag{3}$$

$$S = \begin{matrix} \supset & c_1 & c_2 & c_3 & c_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \dots \\ x_m \end{matrix} & \left| \begin{matrix} \mu_S(x_1, c_1) & \mu_S(x_1, c_2) & \mu_S(x_1, c_3) & \mu_S(x_1, c_n) \\ \mu_S(x_2, c_1) & \mu_S(x_2, c_2) & \mu_S(x_2, c_3) & \mu_S(x_2, c_n) \\ \mu_S(x_3, c_1) & \mu_S(x_3, c_2) & \mu_S(x_3, c_3) & \mu_S(x_3, c_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_S(xc_p, y_1) & \mu_S(xc_p, y_2) & \mu_S(xc_p, y_3) & \mu_S(xc_p, c_n) \end{matrix} \right. \end{matrix}. \tag{4}$$

Стовпчики матриць  $R$  (3) і  $G$  (4) подамо з урахуванням значущості оцінок експертів  $\alpha$  у вигляді упорядкованих нечітких множин.

$$D(x, y_1) = \{\alpha_1 \mu(x_1, y_1), \alpha_2 \mu(x_2, y_1), \alpha_3 \mu(x_3, y_1), \dots, \alpha_m \mu(x_m, y_1)\};$$

$$D(x, z_2) = \{\alpha_1 \mu(x_1, z_2), \alpha_2 \mu(x_2, z_2), \alpha_3 \mu(x_3, z_2), \dots, \alpha_m \mu(x_m, z_2)\};$$

$$D(x, z_2) = \{\alpha_1 \mu(x_1, z_1), \alpha_2 \mu(x_2, z_1), \alpha_3 \mu(x_3, z_1), \dots, \alpha_m \mu(x_m, z_1)\};$$

$$D(x, z_n) = \{\alpha_1 \mu(x_1, z_n), \alpha_2 \mu(x_2, z_n), \alpha_3 \mu(x_3, z_n), \dots, \alpha_m \mu(x_m, z_n)\}; \quad (5)$$

$$D(x, c_1) = \{\alpha_1 \mu(x_1, c_1), \alpha_2 \mu(x_2, c_1), \alpha_3 \mu(x_3, c_1), \dots, \alpha_m \mu(x_m, c_1)\};$$

$$D(x, c_2) = \{\alpha_1 \mu(x_1, c_2), \alpha_2 \mu(x_2, c_2), \alpha_3 \mu(x_3, c_2), \dots, \alpha_m \mu(x_m, c_2)\};$$

$$D(x, c_2) = \{\alpha_1 \mu(x_1, c_2), \alpha_2 \mu(x_2, c_2), \alpha_3 \mu(x_3, c_2), \dots, \alpha_m \mu(x_m, c_2)\};$$

$$D(x, c_n) = \{\alpha_1 \mu(x_1, c_n), \alpha_2 \mu(x_2, c_n), \alpha_3 \mu(x_3, c_n), \dots, \alpha_m \mu(x_m, c_n)\}.$$

У наведених множинах  $D(x, z)$  (5) виділимо підмножини найбільш значущих оцінок, які перевищують середнє значення  $m_1\{D(x, z_i)\}$ , з використанням умов:

$$\alpha_j \mu(x_j, z_i) = \begin{cases} \alpha_{k_j} \mu(x_{k_j}, z_{k_i}), \alpha_j \mu(x_j, z_i) > m_1\{D(x, z_i)\}; \\ 0, \alpha_j \mu(x_j, z_i) \leq m_1\{D(x, z_i)\}. \end{cases} \quad (6)$$

Одержані підмножини (6) подамо у вигляді:

$$D(x_k, z_1) = \{\alpha_{k1} \mu(x_{k1}, z_1), \alpha_{k2} \mu(x_{k2}, z_1), \alpha_{k3} \mu(x_{k3}, z_1), \dots, \alpha_k \mu(x_k, z_1)\};$$

$$D(x_k, z_2) = \{\alpha_{k1} \mu(x_{k1}, z_2), \alpha_{k2} \mu(x_{k2}, z_2), \alpha_{k3} \mu(x_{k3}, z_2), \dots, \alpha_k \mu(x_k, z_2)\};$$

$$D(x_k, z_3) = \{\alpha_{k1} \mu(x_{k1}, z_3), \alpha_{k2} \mu(x_{k2}, z_3), \alpha_{k3} \mu(x_{k3}, z_3), \dots, \alpha_k \mu(x_k, z_3)\};$$

... ..

$$D(x_k, z_n) = \{\alpha_{k1} \mu(x_{k1}, z_n), \alpha_{k2} \mu(x_{k2}, z_n), \alpha_{k3} \mu(x_{k3}, z_n), \dots, \alpha_k \mu(x_k, z_n)\}.$$

Подальшою ітерацією з використанням умов (6) можна виділити підмножину кращих оцінок експертів. Шукану підмножину можна одержати при прийнятті рішень "обережних оцінок", використовуючи умову:

$$\alpha_j \mu(x_j, z_i) = \begin{cases} \alpha_{L_j} \mu(x_{L_j}, z_i), \alpha_{k_j} \mu(x_{k_j}, z_i) \geq \sup_z D(x_k, z_i); \\ 0, \sup_z D(x_k, z_i) < \alpha_{k_j} \mu(x_{k_j}, z_i) < \sup_z D(x_k, z_i). \end{cases} \quad (7)$$

Підмножина оцінок, які задовольняють умову (7), набуває вигляд:

$$D(x, z) = \{\alpha_{L1} \mu(x_{L1}, z_1), \alpha_{L2} \mu(x_{L2}, z_2), \alpha_{L3} \mu(x_{L3}, z_3), \dots, \alpha_{LP} \mu(x_{LP}, z_n)\}. \quad (8)$$

Тоді з наведених множин  $D(x, c)$  необхідно вилучити підмножину оцінок експертів (8):

$$D(x, c) = \{\alpha_{L1} \mu(x_{L1}, c_1), \alpha_{L2} \mu(x_{L2}, c_2), \alpha_{L3} \mu(x_{L3}, c_3), \dots, \alpha_{LP} \mu(x_{LP}, c_n)\}.$$

Рішення оптимізаційної задачі вибору розмірів витрат на створення  $i$ -го елемента системи має забезпечувати мінімізацію оцінок, що входять у вираз (7). Наведений підхід спрощує задачу оцінювання витрат при проектування або корінній модернізації системи експлуатації засобів РТЗ ПР.

### Список літератури

1. Харченко В.П. Эффективность радиоэлектронных средств управления воздушным движением. – К.: Знання, 1979. – 24 с.
2. Игнатов В.А. Экспертные системы технического обслуживания. – К.: Знання, 1985. – 20 с.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

Стаття надійшла до редакції 21.01.02.