

**МОДЕЛІ ВИБОРУ ПІД-СТРАТЕГІЙ УПРАВЛІННЯ  
АГРЕГАТАМИ В УМОВАХ РЕСУРСНОГО КОНФЛІКТУ ДЛЯ  
МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ**

*Розглянуто методи синтезу стратегій мінімізації ризиків при ресурсних конфліктах в агрегованій системі.*

*This paper deals with methods of synthesis strategies to minimize risks by aggregated resource conflicts in the system.*

**1. АКТУАЛЬНІСТЬ**

В складних агрегованих системах для друкування поліграфічної продукції в кожному агрегаті є в наявності набір двигунів електроприводу механізмів, які виконують певну функцію в структурі виробничого технологічного процесу.

Зміна та нестабільність електромережевого постачання призводить до збоїв функціонування агрегатів за рахунок різною споживання енергоресурсу. Для відповідного координаційного управління двигунами електроприводів, з ціллю мінімізації ризиків, необхідно провести аналіз інформаційної структури параметрів даних про режими роботи.

**2. ПРОБЛЕМНА ЗАДАЧА**

Оцінки ризику в умовах невизначеності при прийнятті рішень на управління технологічним процесом.

При оцінці ситуацій на розбитті цільового простору можливі такі стани системи, при якому на просторі елементарних подій, можливі існування двох взаємовиключних ймовірних значень функцій ознак. Середньостатистичні значення ознак ситуацій, є границею незалежних випробовувань в однакових умовах і можуть бути як точними так і невизначеними інтервальними [1].

При цьому будь-яке сімейство розподілів ймовірностей параметра стану може бути скінченно-адитивним або зчисленим, і по суті при введенні рівня достовірності – інтервальним. Інтервальні моделі ґрунтуються на інтервальних середніх а ймовірностям по краях множини А у відповідності до індикаторних функцій подій:

---

<sup>1</sup> Українська академія друкарства

Для більш складних просторів необхідна модель функцій ознак з адитивною структурою розбиття простору подій.

Синтез правил прийняття рішень в системах керування складними технологічними процесами, з гарантованим рівнем успіху в умовах дії збурень та наявних обмеженнях на матеріальні та енергетичні ресурси, ґрунтується на інформаційних технологіях і є важливою науково-прикладною проблемою в процесі проектування САУ-ТП. Процедури синтезу повинні бути однозначними і гарантувати результат з мінімальними ризиками, при зміні стану об'єкта в допустимому інтервалі значень параметрів як енергетичних так і матеріальних потоків необхідних для протікання технологічних процесів [1, 2].

Декомпозиція цих процедур на інформаційні і ресурсні компоненти підкреслює важливу роль забезпечення робастності алгоритмів та інтервальних статистик в опрацюванні даних та формуванні образів динамічних ситуацій, їх формуванні, розпізнаванні та класифікації як елементів процесу прийняття цільових рішень.

Процедури оцінки невизначеності при збуреннях і переключаннях режиму технологічної системи.

Важливою задачею управління енергоактивним об'єктом є вибір таких керуючих дій, при яких критерії ризику при переключенні режимів перезапуску агрегатів відповідає умові [1,3]

$$\alpha_{RISK}^p = \frac{K_A}{\tau} \prod_{i=1}^k \left[ 1 + \alpha_i (X_{id} - \bar{X}_p) \left( \frac{1 + \text{Sign}(X_{im} - X_{id})}{2} \right) \right];$$

$$\bar{X}_p = M \{ X_{pi}(t_i, \tau_i) \} = \left[ \sum_{i=1}^k \int X(t_i, \tau) d\tau \right] \left[ \sum_{i=1}^k \tau_i \right]^{-1},$$

де  $K_A$  – коефіцієнт аварійності;

$\tau$  – час зміни режиму;

$\alpha_i$  – норма границі допустимого режиму;

$X_{id}$  – допустиме значення параметр;

$X_{imax}$  – максимальне значення параметра;

$\bar{X}_{pi}$  – перевищення значення параметра.

При цьому важливим моментом виникнення ризикованої ситуації є динаміка зміни режиму при скачку температури нагріваючого середовища корпусу двигуна привода агрегата:

$$T(x, y, z, t) = T_{eu}(x, y, z) + \sum_{n=1}^m C_n V_n(x, y, z) \exp(-\alpha_T K^2 t),$$

де  $V_n(\ )$  – функція Покеля.

Для системи агрегатів при цьому повинна виконуватись умова енергетичного балансу:

$$\sum_{k=1}^n N_k(u, t, \xi_{ki}) - N_{\max} \leq \Delta P_d(t, u, \vec{\xi}) \leq \Delta P_{\max},$$

де  $N_k$  –  $k$ -те навантаження;  $\Delta P(\ )$  – допустимий розбаланс потужностей двигунів електроприводу.

При синтезі стратегій управління необхідно враховувати зони невизначеності при різних ступенях розбалансу траєкторій стану, що відповідно приводить до ризику у процесі прийняття рішень згідно моделі розмитості стану

$$H_1 : (\hat{x} < x_a) \mapsto (\hat{x} \in D_1 / \alpha_{r1})$$

$$H_2 : (\hat{x} > x_b) \mapsto (\hat{x} \in D_2 / \alpha_{r2})$$

тоді функції ризику для набору гіпотез будуть мати вигляд:

$$Risk(H_1) = \sum C_{1j} P \int_{-\infty}^{x_{\max}} f(x | D_1) dx,$$

$$Risk(H_2) = \sum C_{i2} P_2 \int_{-\infty}^{x_{\max}} f(x | D_2) dx,$$

$$Risk\Delta X = \sum C_{0i} \int_{x_a}^{x_b} P_1 f(x | D_1) + P_2 f(x | D_2) dx,$$

де  $H_i$  – гіпотеза про попадання значень параметра стану в область  $D_i$ ,  $\Delta X_n$  – область невизначеності,  $f(x | D_i)$  – функція розподілу густини ймовірностей,  $V_{XA}$  – аварійний стан,  $C_{ij}$  – ціна похибки рішення.

Інтервал невизначеності при заданих цінах ризику знаходимо на основі критерію Неймана-Пірсона

$$(C_{ij} \in V_i(Z_S \in X), \alpha_{ri}) \rightarrow (I_{\Delta X} = [x_a, x_b]),$$

$$x_a = \frac{1}{2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \frac{\sigma^2}{[\bar{x}_2 - \bar{x}_1]} \left[ \ln \frac{P_2}{P_1} + \ln \frac{(C_{12} - C_0)}{(C_0 - C_{11})} \right],$$

$$x_b = \frac{1}{2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \frac{\sigma^2}{[\bar{x}_2 - \bar{x}_1]} \left[ \ln \frac{P_2}{P_1} + \ln \frac{(C_0 - C_{22})}{(C_{21} - C_0)} \right].$$

Для моделі системи у вигляді рівняння динаміки, відносно стану рівноваги, маємо

$$\dot{x}_\xi(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t, \xi) x_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m U_k(t) B_{ijk}(t) X_j + B U_0,$$

а критерії якості можна сформуувати у вигляді

$$\begin{aligned} \min_U \max_{T_m} I(t_0, x(t_0), t, U, x(T_m)) = \\ = \int_{t_0}^{T_m} F_0(t, x(t, \xi), U(x(t), t)) dt + \varphi_0(t_0, x(t_0), T_m, x(T_m)) \end{aligned}$$

тоді управляючі дії при наявності зони невизначеності біля точки рівноваги знаходимо на основі умови максимуму

$$\max_{u \in U} H(t, x_0(t), u, \psi(t)) = H(t, x_0, u_0 \psi(t)),$$

$$U(t, x) = \begin{cases} U_1 = -k_1 X_1; & X_i \in D_1 / \alpha_{r1} \\ U = 0; & (X_0, X_i) \in [x_a, x_b] / \alpha_{r0} \\ U_2 = -k_2 X_j; & X_j \in D_2 / \alpha_{r2} \end{cases}$$

$$[X_i \in V_A = [X_{\max}, X_A]] \rightarrow V_{DR} [StratU]$$

де  $(U_i, \alpha_{ri})$  – класи управлінь з ризиком  $\alpha_{ri}$ .

Узагальнене рівняння Белмана в процедурі динамічного програмування управляючих дій, при розбалансі відносно цільової траєкторії [4]

$$\overline{\lim}_{t \in T_m} |x_1(t) - x_2(\xi, u, t)| = |C_1|_\xi + |C_2|_u \leq \Delta x_{\max}$$

тоді для харківського переходу при зміні стану рівняння Белмана

$$S(t, x) = \inf_{R_n} \int F(y) P_u(t, x, T) dy; \quad y = Cx(t, \xi, u);$$

$$\begin{aligned} P_u(t, x, S, A) &= P\{x_{t,x}(S, u) \in \Omega_i \subset \prod S_{ds}\} = \\ &= \int_{R_n} P\{x_{t,u}(\tau, u) \in d\Omega \prod (x_{t,u}(S, u) \in A)\} d\tau. \end{aligned}$$

Для рангового простору станів адаптація функції Белмана на розбитті цільового простору матиме представлення [2,4]

$$\begin{aligned}
S(t, x) &= \inf_u \inf_v \int_{R^n} \int_{R^n} P_u(t, x, t + \Delta, dz) P_v(t + \Delta, \xi, T, dy) F(y) = \\
&= \inf_u \int_{R^n} P_u(t, x, t + \Delta, dz) S_v(t + \Delta, z) dt = \\
&= \inf_u M \left[ S(t + \Delta, x_{t,x}(t + \Delta, u, \xi)) \right]^{T_m}
\end{aligned}$$

а умова балансу в середині області стохастичної рівноваги буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
&\forall x \in V_\varepsilon(x_0 | \text{Rang} \prod S_{ds}): \\
&\inf_u M \left[ S((t + \Delta), x_{t,x}(t + \Delta, U(t, \xi)) - S(t, x) \right]^{T_m} \leq \\
&\leq |\Delta S[x, \xi, \Delta u]| \leq \max_{T_m} |\Delta S / \alpha_r| d
\end{aligned}$$

де  $|\Delta S / \alpha_r|$  – модуль максимального відхилення з максимальним ризиком  $\alpha_r$ .

Моделі стратегій керування об'єктом в умовах дії збурень та обмежень на енергетичні ресурси для електроприводів агрегатів.

Оптимізуючи класичні процедури динамічного програмування в сенсі Белмана-Понтрягіна-Кротова є потужним інструментом синтезу стратегій управління, при виконанні умови збіжності для оптимального балансу між достатніми ресурсами і енергією збурень.

В умовах конфлікту досягти рівноваги можливо лише на певному інтервалі термінального часу, а процедури виходу з кризи будуть лише квазі-оптимальні з певним рівнем ризику і мінімальною гарантією успіху у розв'язанні цільових задач.

В залежності від виду математичної моделі, обмеження, що описують ситуацію прийняття рішень можуть бути представлені для різних класів стратегій управління

$M_1$ . Система з неперервними управліннями:

а) нелінійні обмеження на параметри ресурсів

$$\begin{aligned}
G_n &= \{u : u \in U \subseteq R^n, u \geq 0, g(u) \leq b\}, \\
\forall \xi \geq 0 : P_\xi &\leq P_u; P_u = (u R_u u); R_u > 0
\end{aligned}$$

б) лінійні обмеження на ресурси

$$\begin{aligned}
G_\lambda &= \{u : u \in U \subseteq R^n, u \geq 0, A_u \leq b\}, \\
\forall \xi \geq 0 : P_\xi &\leq P_u; P_u \leq P_{\max}^u; u \in [u_{\min}, u_{\max}]
\end{aligned}$$

в) змішані обмеження для системи

$$G_K = G_n \cap G_\Lambda.$$

$M_2$ . Модель з дискретними управляючими діями  $\forall t \in \tau_i \subset T_m$ :

$$u \in V_u \subset R^n, V \prod_{i=1}^n U_i$$

$$\sum_{i=1}^n P_{ui} \leq P_{\max}^E, D = \left\{ u : u \in V, g_p(V_i) = \sum_{i=1}^n g_p(U_i) \leq b_p \right\}.$$

$M_3$ . Модель розв'язання конфлікту на множині альтернативного рангового розбиття простору станів комплексу гравців

$$P_i^r \left\{ \prod_{j=1}^l W_j^{*r} \times \left( \sum_{g \in I} \prod_{j \in I} W_j^{*r} \right)^{-1} \right\}_{r=1}^m,$$

де  $r$  – гравець,  $W_j^{*r}$  – вагова функція  $r$  – цілі,  $P$  – функція вибору переваг  $r$  – гравця.

Алгоритми формування управляючих дій ґрунтуються на компенсації зміщень на траєкторії стану під впливом збурень або при корекції режимів відносно програмної (еталонної) траєкторії

$$U(t, \xi, y) = -k(\Delta x(t, \xi) / x_e), \Delta x_1(t, \xi) = x_e - x(t, \xi, u'),$$

$$\Delta x_k(t, \xi, u_k) = (x_e \pm \Delta x_{ek}(u_k)) - x(t, \xi, u'),$$

де  $\Delta x_1(\ )$  – розбаланс траєкторії руху відносно еталону  $x_e$  при дії збурень  $\xi$ ,  $k_n$  – коефіцієнт підсилення в каналі зворотнього зв'язку,  $u$  – управління.

Структура алгоритмів компенсації формується на основі інтегральних компонентів та пропорційних приростів в поточному часі. Розглянемо базові алгоритми управління на основі:

$M_1$ : ПІД-стратегій компенсації збурень [3]:

$$u(t, \xi, u') = -y(t, \xi, u_k) = -k(\Delta x(t, \xi, u_k, u')(x_c)),$$

$$y(t, \xi, u_k) = k_n(\Delta x(t, \xi) + \Delta x(u_k)) + \frac{1}{T_i} \int_{\tau}^t \Delta x(t, \xi) dt,$$

$$y(t, \xi, u', u_k) = k_n \left( \Delta x(t, \xi) + \Delta x(u_k) + \frac{1}{T_i} \int_{t_i}^{t_i + \tau} \Delta x(t, \xi) dt + T_d \frac{dx(t, \xi)}{dt} \right),$$

де  $T_i, T_d$  – постійні часу інтегратора і диференціатора.

$M_2$  . ПІД-квадратичний регулятор:

$$y(\Delta x^2, u, \xi | t) = k_n \left( \Delta \widehat{x} \Delta \widehat{x} + \frac{1}{T_i} \int_{t_i}^{t_i+\tau} \Delta x(t, \xi, u') dt + T_d \frac{dx(t, \xi, u')}{dt} \right),$$

$$y(\Delta x^2, u | t) = k_n \left( \Delta x(t, \xi, u') + \frac{1}{T_i} \int_{t_i}^{t_i+\tau} \Delta x^2(t, \xi, u') dt + T_d \frac{dx(t, \xi, u')}{dt} \right),$$

а цифрова дискретна реалізація алгоритму представлена в рекурсивній формі

$$y(t_n)_{ni} = k_n \Delta x(t_n) + b(t_n), \quad b(t_n) = b(t_{n-1}) + \frac{\Delta t k_n}{T_i} \Delta x(t_n),$$

при цьому диференціальна компонента визначається на основі виразу (для процедури фільтрації)

$$x(t_n) = k_2 x(t_n) - (1 - k_2) x(t_{n-1}),$$

$$\widehat{\Delta x}(t_n) = k_2 \Delta x(t_n) - (1 - k_2) \Delta x(t_{n-1}).$$

Для агрегатного управління режимом вводиться координація технологічного процесу на основі розподілу потоків енергоактивних ресурсів при заданому навантаженні:

$$y_k = k_p \left[ \sum_{i=1}^m (P_{ie} - P(t, \xi, u)) \right],$$

відповідно відхилення траєкторії стану динамічного режиму визначається:  $\delta_y = y_e - y(t, \xi, u)$ , при заданій стратегії управління ( $Strat(u | y_e)$ ), і впливу збурення  $\xi$ .

### 3. ВИСНОВОК

В статті обґрунтовано вибір моделей ПІД-стратегій управління електроприводом агрегатів поліграфічних друкарських машин при дії збурень на основі моделі розв'язання ресурсного конфлікту.

1. Медиковський М. Автоматизація керування енергоактивними об'єктами при обмежених ресурсах. / Медиковський М., Сікора Л.С. // – Львів: ЦСД. 2002. - 298с. 2. Сильвестров А.Н. Идентификация и оптимизация автоматических систем. / Сильвестров А.Н., Чинаев П.И. я// - М.: Энергоатомиздат. 1987. – 200 с. 3. Сікора Л.С. Системологія прийняття рішень в складних технологічних структурах. - Львів: Каменярь, 1998. - 488с. 4. Белман Р. Динамическое программирование. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 399 с.