

**РОБАСНЕ УПРАВЛІННЯ БІОХІМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ, ЩО ФУНКЦІОНУЮТЬ
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

СТАВИТЬСЯ ЗАДАЧА РОБАСНОГО УПРАВЛІННЯ ЛІНІЙНИМИ НЕСТАЦІОНАРНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА СКІНЧЕННОМУ ТА НЕСКІНЧЕННОМУ ЧАСОВИХ ПРОМІЖКАХ. РОЗ'В'ЯЗОК ЗНАЙДЕНО НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ІГОР.

Мікробіологічні процеси є складними технологічними процесами, які протікають в умовах внутрішньої та зовнішньої невизначеності. Враховуючи високий ступінь невизначеності в даних об'єктах, в роботі пропонується застосувати робасний H_∞ регулятор для скінченного і нескінченного проміжків часу.

В загальному випадку модель вирощування мікроорганізмів в довільному апараті, який складається з батареї реакторів повного змішування, має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d(CV)}{dt} = C_R F_R - CF - R_C(C, S_i, P_j, L_k)V \\ \frac{d(S_i V)}{dt} = S_{iR} F_R - S_i F - R_S^i(C, S_i, P_j, L_k)V \\ \frac{d(P_j V)}{dt} = P_{jR} F_R - P_j F - R_P^j(C, S_i, P_j, L_k)V \\ \frac{d(L_k V)}{dt} = L_{kR} F_R - L_k F - R_L^k(C, S_i, P_j, L_k)V \\ \frac{dV}{dt} = f_v(F_R, F, R_C, R_S^i, R_P^j, R_L^k) \end{array} \right. , \quad (1)$$

$$C(t_0) = C_0; \quad S_i(t_0) = S_{i0}; \quad P_j(t_0) = P_{j0}; \quad L_k(t_0) = L_{k0}; \quad V(t_0) = V_0,$$

де

C, C_R – поточна і вхідна концентрація мікроорганізмів;

S_i, S_{iR} – поточна і вхідна концентрація і-го лімітуючого субстрату;

P_j, P_{jR} – поточна і вхідна концентрація j-го цільового продукту;

L_k, L_{kR} – поточна і вхідна концентрація k-го проміжного продукту;

t – час;

V – робочий об'єм;

F, F_R – вихідна і вхідна швидкості суспензії;

R_C, R_S^i, R_P^j, R_L^k – швидкість зміни концентрації відповідних речовин.

Швидкості зміни концентрації R_C, R_S^i, R_P^j, R_L^k є нелінійними функціями координат стану, тому модель (1) може бути представлена у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}(t) = Ax(t) + B_1 w(t) + B_2 u(t) \\ z(t) = C_1 x(t) + D_{12} u(t) \\ y(t) = C_2 x(t) + D_{21} w(t) \end{array} \right. , \quad (2)$$

$$x(0) = 0,$$

де

$x(t)$ – вектор координат стану;

$w(t)$ – вектор збурень, $w \in L_2[0, \infty)$;

$u(t)$ – вектор управління;

$z(t)$ – вектор виходу;

$y(t)$ – вектор вимірюваних координат;

$A, B_1, B_2, C_1, C_2, D_{12}, D_{21}$ – відомі матриці відповідних розмірностей.

Для скінченного інтервалу часу цільовою функцією є мінімізація норми в просторі L_2 :

$$\gamma(K, X_T, P_0, T) = \sup_{x_0, \omega \in L_2} \left\{ \frac{\int_0^T \|z(t)\|^2 dt}{\int_0^T \|w(t)\|^2 dt} \right\}, \quad (3)$$

де

K – шуканий регулятор;

X_T, P_0 – відомі матриці.

Норма критерію (3) є складною і не має аналітичного розв'язку, тому переходимо до субоптимального критерію управління, тобто необхідно знайти регулятор, який задовольняє нерівність:

$$\gamma(K, X_T, P_0, T) < \gamma^2,$$

де γ – задана величина.

Задача розв'язується шляхом використання методів теорії диференціальних ігор.

Для часткового випадку, коли $y(t) = x(t)$, тобто вимірюються всі координати стану і розв'язок шукається на скінченному інтервалі часу, управління має вигляд:

$$u(t) = Kx(t),$$

тут

$$K = -G^{-1} B_1' X,$$

де

$$G = D_{12}' D_{12};$$

X – розв'язок диференціального рівняння типу Ріккати:

$$\begin{cases} -\dot{X} = A'X + XA - X \left[B_1 G^{-1} B_1' - \frac{1}{\gamma^2} B_2 B_2' \right] X + C_1' C_1 \\ X(T) = X_T \\ X(0) < \gamma^2 P_0. \end{cases}, \quad (4)$$

Якщо розглядається випадок $T = \infty$, матричне диференціальне рівняння (4) приймає вигляд алгебраїчного рівняння типу Ріккати:

$$A'X + XA - X \left[B_1 G^{-1} B_1' - \frac{1}{\gamma^2} B_2 B_2' \right] X + C_1' C_1 = 0;$$

$$0 \leq X \leq \gamma^2 P_0.$$

Отримані також результати для випадку $y(t) \neq x(t)$. Тут задача знаходження управління поділяється на 2 підзадачі: оцінки стану і безпосередньо синтезу регулятора.

Для числової реалізації даної задачі використовується пакет MatLab. Результати моделювання показали ефективність використання даних регуляторів для покращення якості перехідних процесів в досліджуваних об'єктах.