

ISBN 5-7763-8361-7

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

**АВТОМАТИКА
АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ И
СИСТЕМЫ**

№ 1(13) 2004

УДК 681.5

РОЗРОБКА БАГАТОВИМІРНИХ ОПТИМАЛЬНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ОДНОГО КЛАСУ

Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Лобок О.П.

В технологічних комплексах неперервного типу функціонують складні технологічні об'єкти, які характеризуються багатьма зв'язаними між собою регульованими координатами. Часто кілька регульованих координат, кількість яких $n \geq 4$ мають одну фізичну природу, а контури регулювання будуються за однією структурою. Це відноситься, наприклад, до багатокорпусних випарних установок, в яких регулюється рівень в кожному з корпусів ($n = 4, 5$) та збірниках перед і після випарної установки, а також до дифузійних установок нахиленого типу, в яких регулюються $n \geq 4$ температур в різних зонах. Таким чином, можна виділити один клас об'єктів з кількома взаємозв'язаними координатами однієї фізичної природи.

В традиційних системах автоматизації для регулювання кожної з координат використовується окремий автоматичний регулятор, що приводить до небажаних впливів одного контуру на інші і, як наслідок, погіршення якості перехідних процесів та збільшення енерговитрат.

Розглядається можливість створення одного багатовимірного регулятора для технологічних об'єктів виділеного класу, в якому виконуються умови оптимальності щодо якості перехідних процесів та зменшення витрат енергоносіїв, а також автономності окремих контурів.

Одним з підходів до поставленої задачі є використання алгоритмів багатовимірних оптимальних регуляторів, а саме аналітичне конструювання оптимальних регуляторів [1, 2].

Як відомо, постановка задачі аналітичного конструювання оптимальних регуляторів полягає в наступному: розглядається об'єкт, що описується наступними лінійними стохастичними рівняннями

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + Fw, \\ y = Cx + Du + Hw + v; \quad 0 \leq t \leq \infty, \\ x(0) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де x – вектор стану, u – вектор управління, w, v – вектори збурень по каналах управління та вимірювання, A, B, F, C, D, H – матриці математичної моделі об'єкта.

Шукається оптимальне управління в класі лінійних регуляторів, що мінімізує інтегрально-квадратичний критерій виду

$$I = E \left(\int_0^{\infty} (y^T Q_1 y + u^T R_1 u) dt \right), \quad (2)$$

де $Q_1 = Q_1^T \geq 0, R_1 = R_1^T > 0$ – вагові матриці відповідних розмірностей.

Згідно з алгоритмом [3] лінійний квадратичний гаусівський регулятор (LQG) має вигляд

$$\begin{cases} u(t) = -K\hat{x}(t), \\ \dot{\hat{x}}(t) = (A - BK - LC)\hat{x}(t) + Ly(t), \\ K = R_1 B^T P_1, \\ L = P_2 C^T R_2^{-1}, \end{cases} \quad (3)$$

де P_1, P_2 – матриці, що є розв’язком відповідних матричних алгебраїчних рівнянь типу Ріккати для управління та фільтрації.

Нахилена дифузійна установка. Передбачається, що нахилений дифузійний апарат має чотири зони, в кожній зоні по одній паровій камері. Математична модель теплообмінної частини отримана на основі матеріальних та теплових балансів та приведена до виду (машинний час $t=100\tau$, де τ , с)

$$\left\{ \begin{aligned} 1.157 \frac{d\Delta\theta_1}{dt} + \Delta\theta_1 &= 0.43\Delta\theta_c + 0.54\Delta\theta_2 + 0.03\Delta\theta_{n1} - 0.27\Delta G_c + 0.15\Delta G_{dc}; \\ 1.169 \frac{d\Delta\theta_2}{dt} + \Delta\theta_2 &= 0.43\Delta\theta_1 + 0.54\Delta\theta_3 + 0.03\Delta\theta_{n2} - 0.14\Delta G_c + 0.04\Delta G_{dc}; \\ 1.181 \frac{d\Delta\theta_3}{dt} + \Delta\theta_3 &= 0.43\Delta\theta_2 + 0.54\Delta\theta_4 + 0.03\Delta\theta_{n3} - 0.04\Delta G_c + 0.03\Delta G_{dc}; \\ 1.193 \frac{d\Delta\theta_4}{dt} + \Delta\theta_4 &= 0.43\Delta\theta_3 + 0.33\Delta\theta_6 + 0.03\Delta\theta_{n4} + 0.21\Delta\theta_{\text{ж}} + 0.92\Delta G_6 + \\ &\quad + 0.92\Delta G_{\text{ж}} - 0.87\Delta G_{dc} + 0.09\Delta G_c; \\ 0.0887 \frac{d\Delta\theta_{n1}}{dt} + \Delta\theta_{n1} &= \Delta\theta_1 + 279.91\Delta G_{n1}; \\ 0.0393 \frac{d\Delta\theta_{n2}}{dt} + \Delta\theta_{n2} &= \Delta\theta_2 + 288.9\Delta G_{n2}; \\ 0.0489 \frac{d\Delta\theta_{n3}}{dt} + \Delta\theta_{n3} &= \Delta\theta_3 + 286.5\Delta G_{n3}; \\ 0.0715 \frac{d\Delta\theta_{n4}}{dt} + \Delta\theta_{n4} &= \Delta\theta_4 + 282.3\Delta G_{n4}; \end{aligned} \right. \quad (4)$$

де $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4$ - температури сокостружкової суміші по відповідних зонах апарату;

$\Delta\theta_{n1}, \Delta\theta_{n2}, \Delta\theta_{n3}, \Delta\theta_{n4}$ - температури пари в парових камерах відповідно;

$\Delta G_c, \Delta G_{dc}, \Delta G_6, \Delta G_{\text{ж}}$ - витрати відповідно стружки, дифузійного соку, барометричної та жомпресової води;

$\Delta G_{n1}, \Delta G_{n2}, \Delta G_{n3}, \Delta G_{n4}$ - витрати пари по відповідних зонах дифузійного апарату;

$\Delta\theta_c, \Delta\theta_6, \Delta\theta_{\text{ж}}$ - температури стружки на вході в дифузійний апарат, барометричної та жомпресової води відповідно.

Приводимо дану модель до виду в координатах стану (1). При цьому матриці математичної моделі мають вигляд

$$A = \begin{bmatrix} -0.8643 & 0.4667 & 0 & 0 & 0.0259 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3678 & -0.8554 & 0.4619 & 0 & 0 & 0.0257 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3641 & -0.8467 & 0.4572 & 0 & 0 & 0.0254 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3604 & -0.8382 & 0 & 0 & 0 & 0.0251 \\ 11.27 & 0 & 0 & 0 & -11.27 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 25.45 & 0 & 0 & 0 & -25.45 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20.45 & 0 & 0 & 0 & -20.45 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13.99 & 0 & 0 & 0 & -13.99 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3155.69 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7351.15 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5858.90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3948.25 \end{bmatrix},$$

$$F = \begin{bmatrix} 0.3717 & -0.2334 & 0.1299 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.1198 & 0.0342 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0339 & 0.0254 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0754 & -0.7293 & 0.2766 & 0.1760 & 0.7712 & 0.7712 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$x = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_{п1}, \Delta\theta_{п2}, \Delta\theta_{п3}, \Delta\theta_{п4}]^T$ - вектор параметрів стану,

$u = [\Delta G_{п1}, \Delta G_{п2}, \Delta G_{п3}, \Delta G_{п4}]^T$ - вектор управління,

$w = [\Delta\theta_c, \Delta G_c, \Delta G_{дс}, \Delta\theta_6, \Delta\theta_ж, \Delta G_6, \Delta G_ж]^T$ - вектор збурень,

$y = [\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4]^T$ - вектор спостережень,

w, v - шуми по каналах управління та вимірювання відповідно, передбачаються як білі гаусівські незалежні процеси з нульовими середніми значеннями та відомими коваріаційними матрицями ($E(w)=E(v)=0, E(ww^T)=Q_2, E(vv^T)=R_2, E(wv^T)=0$, причому $Q_2=Q_2^T \geq 0, R_2=R_2^T > 0$).

В середовищі Matlab проведена серія експериментів на даній системі з П, ПІ та оптимальним (LQG) регулятором при детермінованих ступінчатих та стохастичних збуреннях.

На рис.1 показані перехідні процеси при сумуючій дії всіх стохастичних збурень. Як видно з графіків, найкращі перехідні процеси забезпечує оптимальний LQG регулятор.

Розглядаючи детерміновані збурення прийшли до висновку, що основними збуреннями температури в першій $\Delta\theta_1$ та другій зонах $\Delta\theta_2$ є початкова температура стружки $\Delta\theta_c$, витрати стружки ΔG_c та дифузійного соку $\Delta G_{дс}$. Графіки перехідних процесів при дії детермінованих ступінчатих збурень та різних регуляторів приведені на рис.2. Аналогічні графіки отримані для температур в інших зонах.

Як видно з рис.2, при дії детермінованих збурень не завжди перехідні процеси задовольняють бажаним. Також при використанні оптимального регулятора завжди існує статична похибка. Але для процесу функціонування технологічних об'єктів саме випадкові збурення є основними, тому LQG-регулятор забезпечить найкращу якість функціонування.

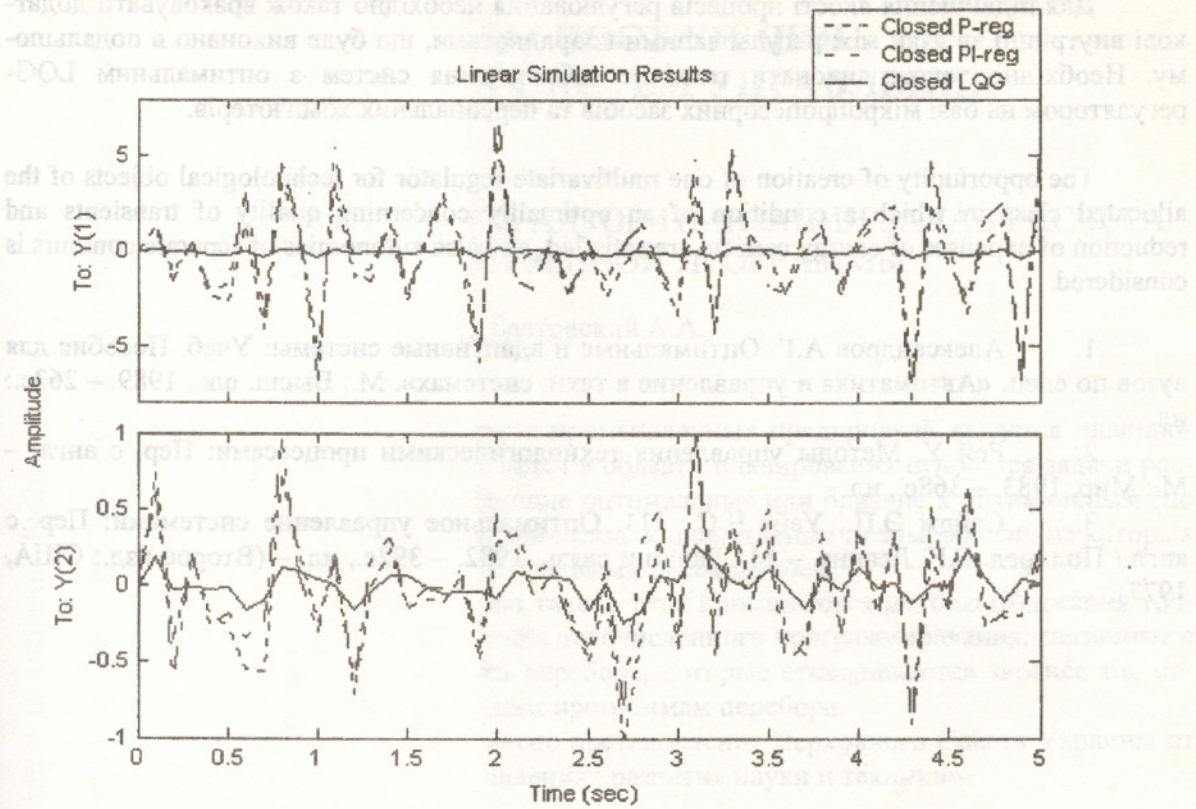


Рис.1 Перехідні процеси при дії сумарних стохастичних збурень.

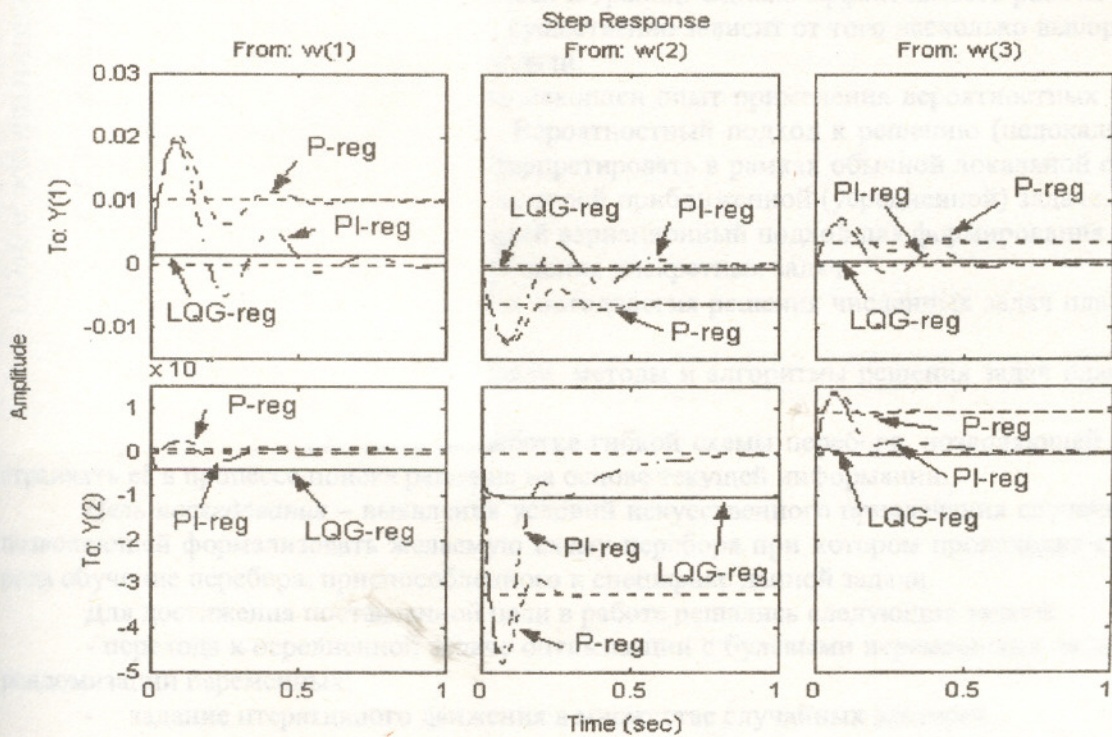


Рис.2 Перехідні процеси при дії ступінчатих збурень.

Для підвищення якості процесів регулювання необхідно також враховувати додаткові внутрішні зв'язки між регульованими координатами, що буде виконано в подальшому. Необхідно також виконати технічне забезпечення систем з оптимальним LQG-регулятором на базі мікропроцесорних засобів та персональних комп'ютерів.

The opportunity of creation of one multivariate regulator for technological objects of the allocated class in which a condition of an optimality concerning quality of transients and reduction of expenses of energy carriers are satisfied, and also autonomies of separate contours is considered.

1. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. Пособие для вузов по спец. «Автоматика и управление в техн. системах». М.: Высш. шк., 1989. – 263с.: ил.
2. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 368с., ил.
3. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С., 111. Оптимальное управление системами: Пер. с англ./ Под. ред. Б.Р. Левина. – М.: Радио и связь, 1982. – 392с., ил. – (Второе изд.: США, 1977).