УДК 631.514

В. М. Лисогор, д. т. н., проф.;
С. В. Сорокун, асп.

ЗАДАЧА МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ БАГАТОСТАДІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Розглянуто задачу моделювання оптимальної стратегії управління багатостадійним технологічним процесом, що визначає модель стану, модель спостереження з наявністю збурень, які діють, як на об'єкт так і на спостережувальну вихідну величину у межах стадій і міжстадійних його стиків.

Актуальність

Створення високоефективних систем управління якістю продукції у різноманітних галузях промислового виробництва стоїть достатньо гостро. У цьому сенсі важливе місце займає задача управління і автоматизації багатостадійних технологічних процесів (БСТП). Останні складають загальний клас технічних систем, що є об'єктами моделювання, управління та автоматизації. До цього класу систем відносяться більшість процесів у хімічній, нафтохімічній, шинній, шиноремонтній, електронній промисловості. До багатостадійних віднесемо також пускові та остановочні режими безперервних технологічних процесів. Із сказаного видно, що названі процеси є важливими для народного господарства України.

Питаннями моделювання оптимальних стратегій управління займались такі видатні вчені, як В. В. Кафаров, В. П. Мішалкін, М. З. Згуровський та інші. Але у цьому напрямку залишилися невирішені задачі моделювання оптимальної стратегії управління БСТП на різних стадіях їх функціонування. Особливо актуальними є задачі оптимізації на стиках стадій цих процесів.

Основні результати

Задача моделювання оптимальних стратегій управління еталонної системи БСТП з випадковою подовженістю його стадій передбачає оптимізацію, як закону управління $U_e(t)$, так і оптимізацію протягу стадій τ. Задача моделювання оптимальних стратегій у дисертаційній роботі буде розглядатися у двох варіантах: — безпосереднє вимірювання фазових змінних, а в цьому випадку вектор стану $x(t)$ вважається повністю відомим; — непряме вимірювання фазових змінних, у цьому випадку замість $x(t)$ вектор $y(t)$, взагалі меншої розмірності ніж $x(t)$.

Будь-який БСТП розбивається на стадії, де в межах кордонів стадії виконується одна функціональна задача та не відстежується ніяких перемикань матеріальних та енергетичних ресурсів. Такий процес як бі розподіляється в функціональний ряд, кожний член якого описує одну лінеаризовану стадію.

Математично його можна описати моделлю стану стадії БСТП

$$\dot{X}_i(t) = f_i\left(X_i, U_i, \omega_1, t\right), \quad t_{i-1} \le t \le t_i. \tag{1}$$

Модель вимірюємих виходів стадії БСТП

$$Y_i(t) = \phi_i\left(X_i, U_i, \omega_2, t\right). \tag{2}$$

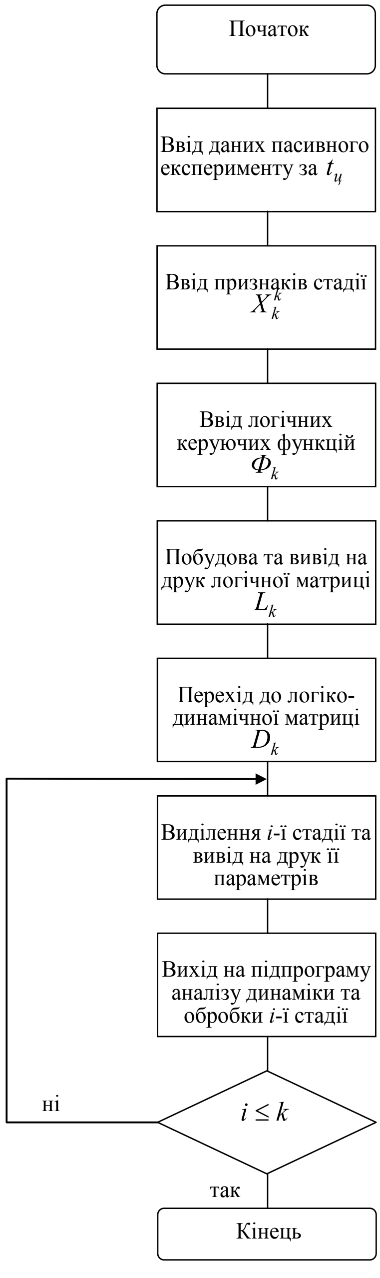
Тут $X \in R^n$; $U \in R^r$; $Y \in R^m$; $\omega_1 \in R^n$; $\omega_2 \in R^m$; $t \in R$ характеризує структуру простору стану — X, управлінь — U, вимірювань — Y, збурень технологічного об'єкту — ω_1, збурень вимірюємих виходів — ω_2. Розв'язок диференціального рівняння (1) дає ділянку електронної траєкторії програмного руху стадії БСТП

$$X_i(t) = F_i(X, U, \omega, t), \quad t_{i-1} \le t \le t_i. \tag{3}$$

Тоді еталонні моделі окремих стадій $F_{iE}(\cdot)$ «зшиті» в єдину модель БСТП, утворюють оптимальну еталонну траєкторію програмного руху технологічного циклу $F(X, U, \omega, t)$, яку можна уявити у вигляді апроксимаційної моделі першого, чи другого порядку.

$$X(t) = F(X, U, \omega, t) = \begin{bmatrix} F_1 = (X, U, \omega, t) \\ F_2 = (X, U, \omega, t) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ F_i = (X, U, \omega, t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 + b_1 t + c_1 t^2 \\ a_2 + b_2 t + c_2 t^2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ a_i + b_i t + c_i t^2 \end{bmatrix}; \quad \begin{matrix} t_0 \le t \le t_1; \\ t_1 \le t \le t_2; \\ \dots\dots\dots\dots \\ t_{i-1} \le t \le t_i. \end{matrix} \tag{4}$$

Коефіцієнти a_i, b_i, c_i — підбираються методом послідовних наближень на основі проведення активного експерименту з використанням АСПР.



Алгоритми формування моделей стадій БСТП

Тоді модель бажаної траєкторії має вигляд

$$F(X, U, \omega, t) = \sum_{i=1}^{k} F_i(X, U, \omega, t). \tag{5}$$

Для вибору цільової функції продуктивність технологічного об'єкту за тривалий плановий період роботи (квартал, півріччя, рік) запропоновано критерій продуктивність технологічної установки по випуску продукції. Показники функціонування системи будуть досягнуті за рахунок максимізації цього критерію

$$M = \sum_{j=1}^{N} \frac{T_{\text{пл}}}{E(t_{\text{ц}} + t_{\text{пр}})} \Rightarrow \max, \quad \Phi = \phi_j\, M. \tag{6}$$

де $E(t_{\text{ц}} + t_{\text{пр}})$ — математичне очікування тривалості технологічного процесу; M — кількість циклів, проведених обладнанням за плановий період; Ф — сумарний об'єм продукції, отриманої всіма установками за плановий період; $T_{\text{пл}}$ — тривалість планового інтервалу (квартал, півріччя, рік); $t_{\text{пр}}$ — тривалість простою; $t_{\text{ц}}$ — тривалість технологічного циклу; ϕ_j — обсяг продукції, отриманої з *j*-го технологічного циклу.

Аналізуючи бачимо, що глобальний критерій можна розбити на два приватних критерії

$$t_{\text{ц}} \Rightarrow \min, \quad t_{\text{пр}} \Rightarrow \min, \tag{7}$$

$t_{\text{ц}}$ — тривалість циклу буде минимізовано за рахунок організації стратегій управління на основі побудови оптимальної моделі бажаної траєкторії управління; $t_{\text{пр}}$ — тривалість простою буде мінімізовано за рахунок багаторівневої координати. Як правило, тривалість циклу залежить від тривалості окремих стадій

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + \ldots + t_i = \sum_{i=1}^{k} t_c. \tag{8}$$

Кожна стадія описується своєю моделлю еталонної траєкторії програмного руху та динамічною моделлю (рис.).

В межах *i*-ї стадії модель динамічної системи в канонічній формі на квазістаціонарній ділянці процесу можна представити таким чином

$$\begin{aligned} \dot{X}_i(t) &= A_i(t) + B_i(t)U_i(t) + \omega_1; \quad X(t_{0i}) = X_{0i}; \\ Y_i(t) &= C_i(t)X_i(t) + \omega_2; \quad t_{i-1} \le t \le t_i, \end{aligned} \tag{9}$$

де $A_i(t)$; $B_i(t)$; $C_i(t)$ — задані матриці на *i*-й стадії; $X(t)$, n — виміровий невідомий вектор стану об'єкту на *i*-й стадії; $U(t)$, r — виміровий невідомий вектор управління або регуляції впливу на *i*-й стадії $Y(t)$, m — виміровий веркот вимірюємих вихідних величин, або відстежування координат *i*-ї стадії.

У такій послідовності і виконаємо постановку задачі моделювання стратегій управління БСТП.

$$dx_e(t) = \left[Ax_e(t) + BU_e(t)\right]dt + D_1 d\omega(t);\; x(t_0) = x_0, \quad (10)$$

де $x_e \in R^n$ — вектор фазових змінних; $U_e \in R^r$ — вектор множини допустимих управлінь; $t \in R^1$ — поточний час, $t_{i-1} \le t \le t_i$; $\omega \in R^n$ — вектор стандартного вінеровського процесу з незалежними компонентами, *A, B, D* — матриці відповідних розмірів.

Задача моделювання стратегії управління заключається в тому, щоб на траєкторії руху $x_e(t)$ знайти такі, що забезпечують мінімум функціоналу якості

$$I(U_e(t), \tau) = M\left\{x_e(t_1) R_1 x_e^T(t_i) + c_0\tau + \sum_{i=1}^{N} \int_{t_{i-1}}^{t} \left[x_e(t) R_2 x_e^T(t) + U_e(t) R_3 U_e^T(t)\right] dt\right\} \to \inf, \quad (11)$$

де τ — час подовженості стадії, *M* — математичне очікування від функціоналу якості, R_1, R_2, R_3 — матриці вагових коефіцієнтів відповідних розмірів, C_0 — постійна, що характеризує вартість одиниці часу.

Результатом моделювання є розв’язання задачі синтезу оптимального у змісті мінімума функціоналу (11). При цьому τ подовженості стадії БСТП вважається випадковою та визначається як харківський момент першого досягнення траєкторії випадкового процесу $x_e(t)$ деякої області $G \in R^n$ з межею Г. Випадкова величина τ з додатковим параметром оптимізації експериментальної задачі

$$\dot{I}_e(U_e, \tau) \to \inf, \quad (12)$$

у якій необхідно не тільки керувати процесом, але й оптимально виконати закінчення стадії БСТП або провести зупинку цієї стадії. Така постановка задачі являє собою поєднання ідей оптимального стохастичного управління та послідовного аналізу (оптимальних правил зупинки). При цьому оптимізація по $U_e(t) \in U$ відбувається моделюванням оптимального закону управління $U_e(t) = U\left(t, x_e(t)\right)$ у вигляді синтезуючої функції, що визначається на множині траєкторій простору R^n, а оптимальна подовженість управління

$$\tau \to \inf\left\{t > 0;\quad x_e(t) \in \Gamma\right\} \quad (13)$$

визначається межею Г області *G*.Додатково специфічною особливістю задачі є те, що межа Г стадії апріорі не завдана та віднаходиться з умови $\dot{I}_e(U_e(t), \tau)$ оптимальності критерію якості.

Висновки

Розглянута задача моделювання оптимальної стратегії управління багатостадійним технологічним процесом, що визначає модель стану, модель спостереження з наявністю збурень, які впливають, як на об’єкт, так і на спостережувану вихідну величину у межах стадій і міжстадійних стиків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зубарев В. В. Моделирование, различение стадий многостадийного технологического процесса / В. В. Зубарев, В. Н. Лысогор, Р. В. Селезнева // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1994 — № 1. — С. 13—17.

2. Марущак В. Ю. К вопросу исследования критериальной основы АСУ шинным и шиновостановительным производством: [Сборник] / В. Ю. Марущак, В. Н. Лысогор // Эффективность и моделирование АСУ. — Киев.: Институт Кибенетики. — 1980. — С. 44—49.

3. Браммер К. Фильтр Калмана-Бьюси / К. Браммер, Г. Зиффлинг; пер. с нем. В. Б. Колмановского. М.: Наука, — 1982. — 200 с.

4. Изерман Р. Цифрове системы управления / Р. Изерман; пер. с англ. М.: Мир, — 1984. — 541 с.

5. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс; [2-е узд., испр.]; пер. с англ. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. —1104 с.

6. Ливитин А. В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А. В. Ливитин; пер. с англ. — М.: Изд.дом «Вильямс», — 2006. — 576 с.

Рекомендована кафедрою комп’ютерних систем управління

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 20.11.08

Лисогор Василь Микитович — професор кафедри аграрного менеджменту.
Вінницький державний аграрний університет;
Сорокун Світлана Вікторівна — аспірантка кафедри комп’ютерних систем управління.
Вінницький національний технічний университет