Оптимальне управління в задачі 2 задовольняє лінійне інтегральне рівняння виду:

$$U(z) = k_1(z) - N^{-1}\int_0^H\int_L^z U(\tau)v_2(t,\tau)dtd\tau\,, \tag{18}$$

де

$$k_1 = -\int_0^H\int_L^z z_\partial v_2(t,\tau)dtd\tau\,.$$

Необхідною умовою для одержання виразів для оптимального управління є знаходження відповідних функцій Рімана. У випадку постійних коефіцієнтів вихідного рівняння функції Рімана виражаються через функції Бесселя нульового порядку уявного аргументу.

1. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных систем регулирования. — М.: Энергия, 1973. – 440с.
2. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. — М.: Наука, 1991. – 432 с.

Е.Ушаков
Вінницький інститут регіональної економіки та управління

УДК 621.382

РОЗРОБКА МЕТОДУ АЛГОРИТМІЧНОГО СИНТЕЗУ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ, ЩО ЗАДАНІ ПАРАМЕТРИЧНОЮ ФУНКЦІЄЮ

Запропоновано метод алгоритмічного синтезу адаптивних систем управління нестаціонарними об'єктами, заданими параметричною функцією, що автоматично враховує поточну інформацію про параметричний стан об'єкта управління, тобто його динамічні властивості в процесі нормальної експлуатації. Це компенсаційний метод самонастроювальної моделі об'єкта керування з паралельним вмиканням.

The method of algorithmic synthesis of adaptive control systems of non-stationary objects given by parametrical function, automatically taking into account the current

information on a parametrical condition of non-stationary object of management, i.e. its dynamic properties is offered during normal operation. It is a compensatory method of self-adapting model of object of control with parallel inclusion.

Вступ

У задачах практики при розробці адаптивних систем оптимального керування багатомірними нестаціонарними динамічними об'єктами у результаті розв'язання задачі синтезу системи знаходиться математична модель системи керування, що, як і об'єкт керування, може бути подана матричною параметричною передатною функцією.

Оскільки елементи матричної параметричної передатної функції є функціями динамічних параметрів об'єкта керування, виникає необхідність автоматичного урахування поточної інформації про параметричний стан нестаціонарного об'єкта керування, тобто урахування його динамічних властивостей у процесі його нормальної експлуатації.

Як показано в ряді робіт [1, 2, 3], врахування динамічних характеристик нестаціонарних об'єктів керування в процесі їхньої нормальної експлуатації можливе із застосуванням систем параметричної ідентифікації.

У роботах [4, 5, 6] показано, що найбільше ефективним методом рішення задач ідентифікації, тобто задач оцінок динамічних характеристик нестаціонарних об'єктів керування, заданих параметричними передатними функціями, є компенсаційний, тобто метод самонастроювальної моделі об'єкта керування з паралельним вмиканням.

Рішення задач алгоритмічного синтезу адаптивної системи керування нестаціонарним об'єктов, заданим параметричною передатною функцією $W_0(P, r_0)$, де r_0 – вектор перемінних параметрів об'єкта керування, та оцінку останнього будемо робити компенсаційним методом.

Постановка задачі

Нехай нестаціонарна динамічна система автоматичного керування, що складається з об'єкта $W_0(P, r_0)$ і регулятора $W_{рег}(P, r_j)$, має головний негативний зворотний зв'язок, що забезпечує усталеність і необхідні якості регульованого процесу на інтервалі $nT_1 \le t \le (n+1)T_1$, де T_1 – деякий період дискретності, у плині якого параметри об'єкта керування r_0 параметрично зберігають своє постійне значення. При цьому передбачається, що динамічні параметри регулятора і його параметрична передатна функція $W_{рег}(P, x_j)$ синтезовані в припущенні квазістаціонарності будь-яким з частотних методів за умови забезпечення заданої якості регульованого процесу на зазначеному інтервалі. Тоді, обравши як метод розв'язання задачі параметричної ідентифікації метод самонастроювальної моделі об'єкта керування з паралельним вмиканням, а як критерій оцінки результатів роботи системи ідентифікації – інтегральний критерій мінімуму середньоквадратичної помилки між вихідними сигналами об'єкта Y_0 і моделі Y_M, маємо:

$$J_1 = \frac{1}{T_н} \int_{T_0}^{T_0+T_н} L^{-1}\left[\xi_1(P, \Delta r_i)\right]^2 dt, \tag{1}$$

де $\xi_1 = (P, \Delta r_i) = W_0(P, r_{0i})U_1 - W_M(P, r_{Mi})U_1$; T_H – інтервал часу спостереження; U_1 – сигнал керування.

Мінімізуючи інтегральний критерій ідентифікації (1) за параметрами моделі r_{M_i}, що настроюються, в припущенні квазістаціонарності об'єкта керування на інтервалі $nT_1 \le t \le (n+1)T_1$, де $T_1 > T_H$, отримаємо:

$$\left[\frac{\partial J_1}{\partial r_{M_i}}\right]_{n+1} = \frac{2}{T_н}\int_{T_0}^{T_0+T_н} L^{-1}\left[W_0(P, r_{0i})U_1 - W_M(P, r_{Mi})U_1\right]_n \frac{\partial L^{-1}\left[W_M(P, r_{M_i})U_1\right]_n}{\partial r_{M_i}} dt =$$

$$= \frac{2}{T_н}\int_{T_0}^{T_0+T_н} L^{-1}\left[\xi_1(P, \Delta r_i)U_1\right]_n \frac{\partial L^{-1}\left[W_M(P, r_{M_i})U_1\right]_n}{\partial r_{M_i}} dt, \tag{2}$$

де $\left[r_{M_i}\right]_n = r_{M_i}(0) + \sum_{n=1}^{N}\left[\Delta r_{M_i}\right]_n$, $\left[\Delta r_{M_i}\right]_n = \lambda_i\left[\frac{\partial J_1}{\partial r_{Mi}}\right]_n$, $(n = 1, 2, ..., N)$.

Отриманий вираз (2) є структурою й алгоритмом функціонування системи ідентифікації параметрів об'єкта керування для $(n+1)$-го циклу.

Знімаючи накладені обмеження квазістаціонарності, оцінку якості регульованого процесу нестаціонарного об'єкта керування будемо робити за мінімумом інтеграла від квадратичної помилки ξ_2.

$$J_2 = \frac{1}{T_н}\int_0^{T_н} L^{-1}\left[\xi_2(P, r_{0i}, x_j)\right]^2 dt, \tag{3}$$

де ξ_2 визначається виразом

$$\xi_2(P, r_{0i}, x_j) = F(P) - Y_0(P, r_{0i}, x_j), \tag{4}$$

де

$$Y_0(P, r_{0i}, x_j) = W_0(P, r_{0i})U_1(P, r_{0i}, x_j). \tag{5}$$

Підставляючи значення $Y_0(P, r_{0i}, x_j)$ у вираз (4), отримаємо

$$\xi_2(P, r_{0i}, x_j) = F(P) - W_0(P, r_{0i})U_1(P, r_{0i}, x_j), \tag{6}$$

де

$$U_1(P, r_{0i}, x_j) = W_{рег.}(P, x_j)\xi_2(P, r_{0i}, x_j). \tag{7}$$

Вирішуючи рівняння (6) з урахуванням (7), маємо:

$$\xi_2(P, r_{0i}, x_j) = F(P) - W_0(P, r_{0i})W_{рег.}(P, x_j)\xi_2(P, r_{0i}, x_j). \tag{8}$$

Розв'язавши вираз (8) щодо сигналу помилки $\xi_2(P, r_{0i}, x_j)$, отримаємо:

$$\xi_2(P, r_{0i}, x_j) = \frac{F(P)}{1 + W_0(P, r_{0i}) W_{рег.}(P, x_j)}, \tag{9}$$

де x_j – вектор параметрів регулятора, що настроюються; $F(P)$ – вхідний вплив.

Зважаючи на те, що на параметричний стан нестаціонарного об'єкта керування в кожному n-у циклі може зазначити самонастроювальна модель, приймемо у керуванні (9)

$$\left[W_0(P, r_{0i})\right]_{n-1} \cong \left[W_M(P, r_{M_i})\right]_n. \tag{10}$$

Тоді вираз для сигналу помилки в кожному $(n + 1)$-у циклі буде мати вигляд:

$$\left[\xi_2(P, r_{0i}, x_j)\right]_{n+1} = \frac{\left[F(P)\right]_n}{\left[1 + W_M(P, r_{M_i}) W_{рег.}(P, x_j)\right]_n}. \tag{11}$$

Припускаючи квазістаціонарність об'єкта керування і регулятора на інтервалі $nT_1 \le t \le (n + 1)T_1$ і мінімізуючи інтегральний критерій середньоквадратичної помилки регульованого процесу (3), за параметрами регулятора, що настроюються, з урахуванням виразу (11), маємо:

$$\left[\frac{\partial J_1}{\partial r_{M_i}}\right]_{n+1} = \frac{2}{T_н} \int_{T_0}^{T_0+T_н} L^{-1}\left\{\frac{F(P)}{1 + W_M(P, r_{M_i}) W_{рег.}(P, x_j)}\right\}_n L^{-1}\left\{\frac{W_M(P, r_{M_i}) \partial W_{рег}(P, x_j) F(P)}{\left[1 + W_M(P, r_{M_i}) W_{рег.}(P, x_j)\right]^2 \partial x_j}\right\}_n dt,$$

$$\left[x_j\right]_n = x_j(0) + \sum_{n=1}^{N} \left[\Delta x_j\right]_n, \qquad \left[\Delta x_j\right]_n = -\lambda x_j \left[\frac{\partial J_2}{\partial x_j}\right]_n. \tag{12}$$

Отримані вирази (12) являють собою структуру й алгоритм функціонування системи аналізу стану й прийняття рішення для $(n + 1)$-го циклу.

Аналізуючи отримані вирази (2) і (12), дійдемо висновку, що права частина цих інтегро-диференційних рівнянь являє собою математичну модель контурів самонастроювання системи ідентифікації і системи аналізу стана й прийняття рішення відповідно, а ліва – вектори керування параметрів контурів, що настроюються:

$$\left[Ur_{M_i}\right]_n = Ur_{M_i}, (i = 0, 1, 2, \ldots, s),$$

де

$$\left[Ux_j\right]_{n+1} = Ux_j, (j = 0, 1, 2, \ldots, l), \quad \left[Ur_{M_i}\right]_n = Ur_{M_i}(0) - \lambda x_i \left[\frac{\partial J_1}{\partial r_{M_i}}\right]_n, (i = 0, 1, \ldots, s),$$

$$\left[Ux_j\right]_{n+1} = Ux_j(0) - \lambda x_j \left[\frac{\partial J_2}{\partial x_j}\right]_{n+1}, (j = 0, 1, \ldots, l), \tag{13}$$

для n-го і $(n + 1)$-го циклів.

Зважаючи на те, що вектори керування параметрів контурів, що настроюються, Ur_{M_i} і Ux_j – постійні на інтервалах часу $(n - 1)T_1 \le t \le nT_1$, $nT_1 \le t \le (n + 1)T_1, \ldots, [(n + v)-1]T_1 \le t \le (n + v)T_1$, $(n + v)T_1 \le t \le [(n + v)+1]T_1$, і впливають на настроювання параметрів моделі системи ідентифікації і системи опрацювання інформації й прийняття рішення тільки в дискретні моменти часу $nT_1,(n + 1)T_1,\ldots, (n + v)T_1$ /36/, та узявши суму всіх значень Ur_{M_i}, Ux_j від циклу $n = 1$ до v, одержимо алгоритм керування контурів самонастроювання системи ідентифікації і системи опрацювання інформації й прийняття рішення в дискретній формі:

$$\left[Ur_{M_i}\right]_n = Ur_{M_i}(0) + \sum_{n=1}^{v}\left[\frac{\partial J_1}{\partial r_{M_i}}\right]_n, (i = 0,1,\ldots,s),$$

$$\left[Ux_j\right]_{n+1} = Ux_j(0) + \sum_{n=1}^{v}\left[\frac{\partial J_2}{\partial x_j}\right]_{n+1}, (j = 0,1,\ldots,l), \tag{14}$$

Висновки

Отримані аналітичні вирази (2), (12), (14) дозволяють побудувати адаптивну систему аналізу стану і керування нестаціонарним об'єктом, заданим частотними характеристиками. При цьому адаптивна система аналізу стану і керування нестаціонарним об'єктом складається з системи керування з жорстким зворотним зв'язком та системи керування з гнучким параметричним зворотним зв'язком.

Система керування з жорстким зворотним зв'язком забезпечує стійкість і необхідну якість регульованого процесу на інтервалах квазістаціонарності.

Система керування з гнучким параметричним зворотним зв'язком забезпечує оптимальність значень параметрів регулятора нестаціонарного об'єкта керування на кожному ітеративному кроці.

Структурно система аналізу стану і керування з гнучким параметричним зворотним зв'язком складається з параметричної системи ідентифікації та системи опрацювання інформації й прийняття рішення.

Параметрична система ідентифікації оцінює параметри об'єкта керування, інформативність якої разом із збурюючим впливом $F(P)$ використовується системою опрацювання інформації й прийняття рішення для знаходження оптимальних значень параметрів x_j регулятора на кожному ітеративному кроці.

1. Александровский Н.М., Егоров С.В., Кузин Р.Б. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами. – М.: Энергия, 1973.

2. Костюк В.И. Беспоисковые градиентные самонастраивающиеся системы. – К.: Техника, 1969.

3. Tsypkin V.Z. Principles of Dynamic in Automatic Systems/ World Congress of IFAC, Paris, 1992.

4. Волкович В.Л., Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1974.

5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978.

6. Перельман И.И. Обобщение модели Калмана в задачах идентификации // Автоматика и телемеханика. – 1970. – №9.