

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 519.876.5

Т. О. Голубєва, асп.;

В. М. Дубовой, д. т. н., проф.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ІНВАРІАНТНОГО УПРАВЛІННЯ

Для синтезу систем, що діють в умовах невизначеності, може бути застосовано принцип інваріантності. Проте, для інваріантних систем не завжди можна отримати розв'язок системи рівнянь, що описує дану систему. Для того, щоб знайти значення невідомих параметрів системи рівнянь, що наближаються до розв'язку цієї системи, можна використати метод оцінювання. При цьому синтезована система буде квазіінваріантною до зміни стану системи згідно з деяким критерієм оцінювання.

Вступ

Для сучасних систем, що діють в умовах невизначеності, характерні три принципові підходи до розгляду таких систем:

- робастні системи, або методи гарантованого результату;
- оптимізаційні підходи;
- інваріантні підходи.

Так звані методи гарантованого результату в останній час набули широкого поширення [1—3]. Основу цих методів складає задання невизначених параметрів через певну множину значень, які може приймати невизначений параметр, тобто для кожного параметра x є простір значень R^n

$$x \in R^n. \quad (1)$$

Одним з базових методів гарантованого результату є мінімакський підхід [1, 4], який базується на знаходженні мінімального відхилення за максимально несприятливих умов роботи системи. Тобто фактично задача управління зводиться до задачі оптимізації.

Системи з оптимізацією забезпечують екстремальні значення параметрів якості при усіх можливих умовах роботи системи [5, 6]. Функціонал якості можна задати як

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f(\bar{x}, \bar{u}, \bar{\xi}) dt, \quad (2)$$

де \bar{u} — вектор керувань; \bar{x} — вектор задавальних впливів; $\bar{\xi}$ — вектор невизначених збурень; $[t_0, t_k]$ — розглядуваний інтервал часу; $f(\cdot)$ — функція, що відображає показник якості.

Тоді задача оптимізації зводиться до знаходження

$$J \rightarrow opt \quad (3)$$

за додаткових умов, що накладаються на параметри системи та саму систему.

Отже, для оптимальних систем характерне те, що невизначеність параметрів або структури компенсується тим, що в ході управління змінюється структура або параметри системи так, щоб показники якості знову досягали екстремуму [5].

Згідно з принципом інваріантності, керована змінна є незалежною від збурення та змін параметрів системи, таким чином невизначеність зменшується, або ж усувається. Тобто здійснюється перетворення

$$\overline{x_{inv}} = F\left(\overline{x}\left(\overline{\xi}, \overline{k}\right)\right), \tag{4}$$

де $\overline{x_{inv}}$ — вектор керованих змінних, незалежних від збурень та зміни параметрів САУ, \overline{x} — вектор керованих змінних, залежних від збурень та зміни параметрів, $\overline{\xi}$ — вектор збурень, \overline{k} — вектор параметрів системи, що змінюються, $F(\cdot)$ — інваріантне перетворення.

Методи інваріантного управління можуть бути представлені так, як це показано в табл. 1 [7, 8].

Таблиця 1

Методи інваріантного управління

	Рівняння системи	Коментарі
Повна інваріантність	Рівняння системи $D(p)z = Q(p)\Xi(p)$	Z — похибка, викликана дією детермінованих задавальних впливів X ; $\Xi(p)$ — зображення збурювального впливу ξ $D(p)$ — характеристичне рівняння системи $Q(p)$ — характеристичне рівняння системи в розімкненому стані
	I форма умов інваріантності $Q(p) \neq 0; \Xi(p) = 0$	Збурювальний вплив на систему відсутній
	II форма умов інваріантності $Q(p) = 0; \Xi(p) \neq 0$	В даному випадку необхідно, щоб дорівнював нулю поліном правої частини рівняння за похибкою
	III форма умов інваріантності $\frac{Q(p)}{D(p)} \Xi(p) = 0; Q(p) \neq 0; \Xi(p) \neq 0$	—
	IV форма умов інваріантності Рівняння системи $D(p)z = Q(p)\Xi(p) - Q_o(p)\Xi_o(p)$ Умови інваріантності $Q(p)\Xi(p) - Q_o(p)\Xi_o(p) = 0$	Введенням додаткового впливу ξ_o , що змінюється за наперед заданим законом, який обирається на умовах підвищеної точності та швидкодії системи
Інваріантність з точністю до ε	Рівняння системи $\dot{\bar{x}} = A_1\bar{x} + A_2\bar{y} + A_3U + A_4V(\xi), x(t_0, \varepsilon) = x^0, x^0 \in X;$ $\varepsilon\dot{\bar{y}} = A_5\bar{x} + A_6\bar{y} + A_7U + A_8V(\xi), y(t_0, \varepsilon) = y^0, y^0 \in Y.$ Умова інваріантності $J(U, V(\xi)) = \text{const}$	\bar{x} — n-вимірний вектор вхідних параметрів; \bar{y} — m-вимірний вектор вихідних параметрів; U — функція керування; $V(\xi)$ — функція зовнішніх впливів; $J = (c, \bar{x}(t))$ — критерій інваріантності, де c — n-вимірний вектор

З чотирьох представлених форм для системи з повною інваріантністю перша форма не має практичного значення. Для решти форм постає питання про те, чи можуть бути розв’язані рівняння наведені у таблиці для кожної з форм. Як правило, дані рівняння мають розв’язок, якщо всі величини, які в них входять, є вимірюваними. В протилежному випадку задачу неможливо розв’язати, оскільки в цьому випадку кількість рівнянь буде менша від кількості невідомих.

Постановка задачі

Згідно з вищенаведеним для інваріантних систем не завжди можна отримати точний розв’язок системи рівнянь, що описує дану систему. Тому для таких задач необхідно використати метод, що дозволить отримати наближений розв’язок. Для цього можна використати метод оцінювання. Базуючись на методі оцінювання, можна запропонувати таку постановку задачі синтезу системи, яка наближається до інваріантної системи (назвемо її квазіінваріантною): нехай є математична модель системи, що є системою з n рівнянь,

$$N\left(\overline{X}, \overline{k}, \overline{Y}\right) = 0, \tag{5}$$

де \bar{Y} — повний вектор вихідних параметрів системи. Для синтезу системи необхідно знайти такі значення m -вимірною вектора невідомих вихідних параметрів моделі системи \bar{Y}_n , які задовольняють рівняння математичної моделі системи (2) і є найближчими у розумінні деякого критерію до вихідних параметрів моделі системи \tilde{Y}_n при зміні зовнішніх впливів системи [9].

В якості критерію оцінювання, як правило, використовують мінімум відхилення вектора незалежних параметрів від відповідних вимірених параметрів

$$\min \sum_i (\tilde{Y}_{n_i} - Y_{n_i})^2, \quad i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Критерій (6) може бути модифікований для випадку коли не всі величини є рівнозначними, тоді використовують зважені ваги $\omega_i, i = \overline{1, m}$ для кожного з параметрів [10]

$$\min \sum_i \omega_i (\tilde{Y}_{n_i} - Y_{n_i})^2, \quad i = \overline{1, m}. \quad (7)$$

У [8] запропоновано такий критерій:

$$\min \sum_{i=1}^m \frac{(\tilde{Y}_{n_i} - Y_{n_i})^2}{\sigma_{\tilde{Y}_i}^2}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Слід зауважити, що невідомі параметри системи можуть містити невизначеність, причому як нечітку невизначеність, так і стохастичну. У випадку, коли присутній один тип невизначеності, елементи вектора незалежних параметрів системи можуть бути описані функціями належності або функціями розподілу ймовірностей. У випадку комбінованої невизначеності можуть бути використані узагальнювальні функції [11].

Слід зауважити, що якщо при класичному застосуванні методу оцінювання як критерій ся середньоквадратична похибка оцінювання значень невідомих параметрів системи, то в даному

випадку як критерій необхідно брати мінімум відхилення кінцевого стану системи від бажаного. Тоді система буде квазіінваріантною відносно збурювальних впливів, що можуть викликати відхилення стану.

Опишемо методику синтезу закону управління за допомогою методу оцінювання (рис. 1). В цій методиці чатку формується математична модель системи. Далі з моделі виділяють вектор невідомих параметрів системи. Після цього необхідно сформулювати критерій оцінювання згідно з наведеними формулами (6)–(8). Для сформованого критерію розв’язується задача мінімізації в результаті якої отримують шуканий вектор невідомих параметрів. Оскільки вже будуть відомі всі параметри системи, може бути синтезований закон управління системою згідно з математичною моделлю системи.

Оптимальне управління — це функція від часу $u(t)$. Для того, щоб дана функція могла бути оцінена, вона представляється у дискретні моменти часу, тобто

$$u(t) = [u_0, \dots, u_n].$$

При цьому мінімізація здійснюється по дискретному вектору управління.

Розглянемо приклад розв’язання такої задачі. Нехай є система управління процесом виробництва макаронних виробів. Структурна схема системи показана на рис. 2.

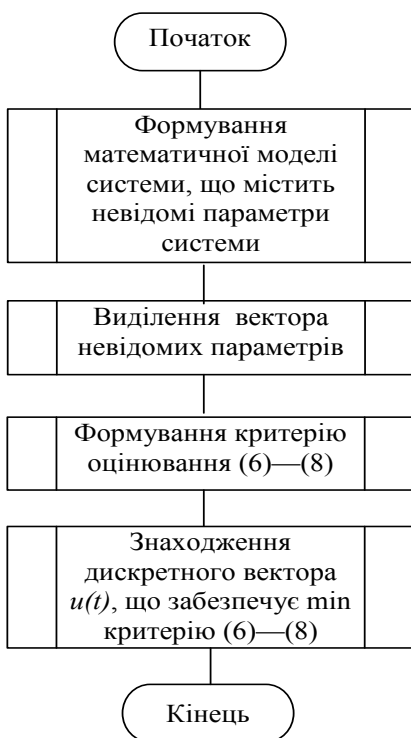


Рис. 1. Методика синтезу закону управління за допомогою методу оцінювання

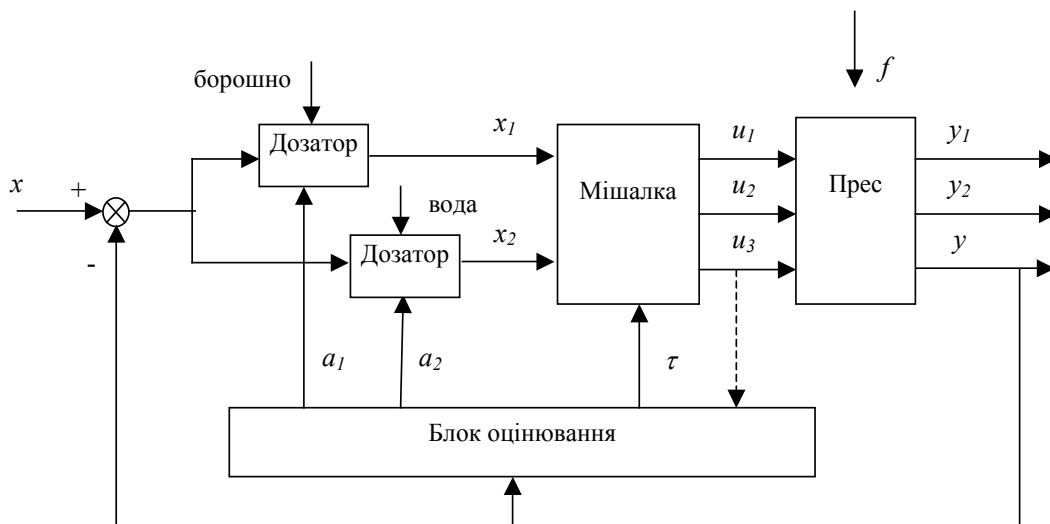


Рис. 2. Структурна схема системи управління процесом виробництва макаронних виробів

Система повинна забезпечити кількість виробів y у відповідності до завдання x . Необхідно також підтримувати задану твердість y_1 та міцність y_2 . На систему діє невідоме збурення f – якість муки. Показники твердості та міцності також не піддаються безпосередньому контролю. Але вони залежать від вологості тіста u_2 і в'язкості тіста u_3 , що опосередковано можна оцінити, виходячи з тиску у пресі.

Налаштування до умов невизначеності здійснюється за рахунок оцінювання та регулювання кількості води та муки та швидкості перемішування.

Модель системи подається графічними залежностями (рис. 3), базою експертних оцінок (табл. 2) та описується такими рівняннями:

$$x_1 = a_1(x - y), \quad x_2 = a_2(x - y), \quad y = x - (x_1 + x_2),$$

$$y(T) = \int_0^T u_1(t) dt.$$

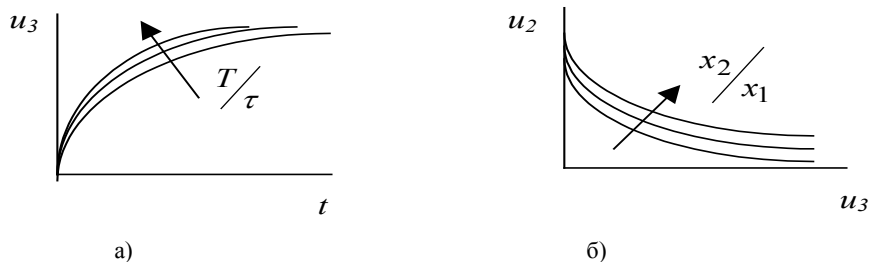


Рис. 3. Графічні залежності параметрів системи:

а) в'язкість тіста від часу; б) вологість тіста від в'язкості тіста

Таблиця 2

Форма оцінювання параметрів системи, що задаються експертно

В'язкість u_3	Вологість u_2	Якість муки f	Тривалість циклу T	Твердість y_2	Міцність y_3
висока	середня	висока	велика	середня	велика
...

Розв'язання задачі оцінювання параметрів здійснюється з метою мінімізації критерію (7)

$$Q = \varpi_1 (y_1 - y_{10})^2 + \varpi_2 (y_2 - y_{20})^2 + \varpi_3 (y - x)^2, \tag{9}$$

де ϖ_i — вагові коефіцієнти; y_{10} і y_{20} — задані значення твердості та міцності відповідно, або з

метою досягнення інваріантності щодо невідомого впливу f .

Оскільки розв'язання першої задачі здійснюється в умовах невизначеності деяких факторів, то критерій (9) може мінімізуватися лише у середньому

$$\min \bar{Q} = \min \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} Q \beta(Q/f) df,$$

де $\beta(Q/f)$ — умовна узагальнювальна функція невизначеності [11].

Розв'язання другої задачі може бути здійснене на основі мінімізації середньої чутливості критерію (9) до збурення f

$$\min \left(\overline{\frac{\partial Q}{\partial f}} \right) = \min \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \frac{\partial Q}{\partial f} \beta \left(\frac{\partial Q}{\partial f} / f \right) df.$$

Висновки

Показано, що для систем з математичною моделлю, представленою у вигляді системи рівнянь, яка не має розв'язку, за допомогою методу оцінювання можна знайти такий вектор управління, з яким система буде квазіінваріантною до зміни стану початкової системи. У статті запропоновано підхід до синтезу закону управління в умовах невизначеності за допомогою оцінювання вектора дискретних значень управління, які забезпечують квазіінваріантність системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Азарсков В. М., Блохин Л. Н., Житецкий Л. С., Кукуль Н. Н. Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления. — К.: НАУ, 2004. — 500 с.
2. Кунцевич В. М. Адаптивное управление: алгоритмы, системы, применение. — К.: Выща шк., 1988. — 64 с.
3. Boris T. Polyak, Sergey A. Nazin, C'ecile Durieu, Eric Walter Ellipsoidal Parameter or State Estimation under Model Uncertainty. — 2001. — 10 p.
4. Современные методы идентификации систем / Под ред. Эйхоффа П. — М.: Мир, 1983. — 400 с.
5. Чураков Е. П. Оптимальные и адаптивные системы. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 256 с.
6. Куропаткин П. В. Оптимальные и адаптивные системы: Учебное пособие для вузов. — М.: Высш. Школа, 1980. — 287 с.
7. Справочное пособие по теории систем автоматического регулирования и управления / Под. ред. Санковского Е. А. — Мн.: Высшейша школа, 1973 — 584 с.
8. Дмитриев А. М. Приближенно инвариантные стратегии в линейных системах управления с неопределенностью. — М.: Наука, 1991. — 250 с.
9. Дубовой В. М. Моделирование систем контролю та керування. — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 175 с.
10. Гамм А. З., Голуб И. И. Наблюдаемость электроэнергетических систем. — М.: Наука, 1990. — 200 с.
11. Глонь О. В., Дубовой В. М. Моделирование систем керування в умовах невизначеності. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2004. — 169 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006, 25—28.09.2006 р.)

Надійшла до редакції 23.11.06
Рекомендована до друку 12.12.06

Дубовой Володимир Михайлович — завідувач кафедри, *Голубєва Тетяна Олександрівна* — аспірантка.
Кафедра комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет