

УДК 52.60

І.А. Черепньов

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка*

### **ФОРМУВАННЯ ЗАКОМУ УПРАВЛІННЯ КІБЕРНЕТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ**

*У статті розглянуті загальні принципи управління кібернетичними системами й обрана адаптивна система автоматичного управління як найбільш доцільна.*

*кібернетична система, апріорна інформація, координати вектора*

Управління кібернетичною системою (КС) полягає у виробленні доцільних управляючих впливів на об'єкт управління залежно від значень контрольованих величин і впливів, що задають. Ця залежність є закон управління. Задача закону управління визначає реакцію управляючого пристрою в тій або іншій ситуації [1, 2].

До вибору закону управління можна підійти подвійно:

1) розрахувати закон управління заздалегідь, а в процесі роботи КС використати готовий закон управління;

2) синтезувати закон управління в процесі роботи КС. Одночасно з управлінням.

Розглянемо можливість застосування кожного із цих підходів. Попередній розрахунок закону управління кращий. Тому що в цьому випадку в процесі роботи системи управляючий пристрій не проводить розшукової роботи за синтезом закону управління, а націлений тільки на забезпечення доцільного стану об'єкта управління з погляду ходу операції. Завдяки цьому управляючий пристрій не завантажений додатковою роботою, що дозволяє йому швидше реагувати на ситуації. Крім того, система звільняється від додаткових впливів, спрямованих на пошук закону управління й, як правило, що ведуть об'єкт управління від необхідного в цей момент стану.

Однак для попереднього розрахунку закону управління вся вихідна інформація повинна бути відома апріорно. Для цього потрібна, зокрема, впевненість, що вихідні дані, покладені в основу розрахунку, не будуть мінятися в процесі роботи системи. Це дуже жорстка умова. Апріорну інформацію одержують у результаті попереднього експерименту або теоретичного дослідження. Будучи отримана заздалегідь, апріорна інформація згодом може втратити свою вірогідність.

До вихідних даних відносяться, зокрема, математичні моделі інших елементів і всієї системи. При традиційному підході до створення такої моделі потрібно вивчити закономірності фізичних процесів, що протікають в елементах системи. До того ж для попереднього розрахунку закону управління необхідно, щоб параметри елементів залишалися незмінними в процесі роботи системи [3, 4].

До вихідних даних відносяться характеристики сигналів у системі. Деякі із цих характеристик у різних операціях можуть бути неоднаковими, і тому не можуть вважатися апріорно відомими.

В умовах, коли відсутня необхідна вихідна інформація, залишається тільки другий шлях – синтезувати закон управління в процесі роботи системи, причому необхідну інформацію одержувати в ході управління. Зокрема, у процесі управління можуть визначатися характеристики елементів системи й характер цих сигналів.

Можливість визначення характеристик елементів заснована на наступній ідеї. Для цілей управління не обов'язково знати закон закономірності фізичних процесів, що протікають в елементах системи, потрібна лише залежність між величинами, які характеризують роботу цих елементів. А цю залежність можна визначити, спостерігаючи за вхідними й вихідними величинами елементів під час роботи системи й проводячи обробку результатів спостережень. Таким способом можна скласти модель елемента, потрібну для цілей управління.

Принципи опису об'єкта, внутрішня структура якого зовсім невідома й недоступна для спостерігача, на підставі спостережень за поведінкою об'єкта відомий у літературі: такий об'єкт називають «чорним ящиком». Визначення характеристик управляючих об'єктів і їх сигналів називається ідентифікацією [5, 6].

Таким чином, при другому підході до вибору закону управління сполучається управління системою й ідентифікація елементів і сигналів. При цьому управління починається з деякого початкового закону управління, потім у результаті обробки поточної інформації цей початковий закон змінюється, наближаючись до найбільш доцільного. Коректування закону управління залежно від поточної інформації проводиться протягом усього процесу управ-

ління. Це дозволяє здійснювати управління в умовах мінливих характеристик об'єкта й сигналів. Отже, система управління при такому підході відноситься до класу адаптивних систем. Час, протягом якого управляючий пристрій настроюється на доцільний закон управління, істотно залежить від удалий вибору початкового закону управління.

Якась інформація про елементи системи й сигнали звичайно відома заздалегідь. Корисно таку інформацію використати. Наявність деяких відомостей про об'єкт управління можна охарактеризувати як заміну «чорного ящика» «сірим ящиком». У цьому випадку зменшуються витрати (часу, техніки) на ідентифікацію в процесі управління. Крім того, апріорна інформація дозволяє більш вдало вибрати початковий закон управління.

Використання апріорної інформації при синтезі закону управління можна уявити собі й в іншому аспекті. Якщо можна зібрати всі вихідні дані, що характеризують поведінку об'єкта управління в деяких типових умовах, то заздалегідь розраховується закон управління для цих типових умов, який приймається як початковий. Тоді в процесі управління забезпечується коректування цього початкового закону з урахуванням конкретних умов, у яких працює даний об'єкт у даний час. Початковий закон розраховується заздалегідь, коли немає обмежень на тривалість обчислень. Це звільняє управляючий пристрій від великого обсягу обчислень у процесі управління, коли на тривалість обчислень накладаються жорсткі обмеження. Управляючий пристрій у цьому випадку забезпечує тільки невелике коректування закону управління відповідно до поточних умов роботи об'єкта.

При розробці управління використовуються два методи: аналітичний і алгоритмічний. Аналітичні методи дають явне розв'язання задачі у вигляді формул. Ці методи придатні для розв'язання щодо простих задач, простота яких пояснюється, як правило, сильним спрощенням, і отже, «огрубінням» дійсної задачі.

Алгоритмічні методи не дають явного розв'язання задачі, розробляється лише алгоритм розв'язання завдання, тобто правило, за яким поточна інформація переробляється в управляючі впливи. Реалізуються алгоритми за допомогою обчислювальних пристроїв.

Складність задачі управління КС визначає, у цілому, використання алгоритмічних методів.

Для організації управління необхідно математичною мовою сформулювати мету управління. Управління системою повинне бути спрямоване на забезпечення більш-менш доцільного стану об'єкта управління. Будь-яке доцільне функціонування системи можна розглядати як оптимальне. Оскільки, визнаючи його доцільним, ми тим самим віддаємо

йому перевагу. Отже, можна припустити існування критерію порівняння різних варіантів функціонування, що виражається числом, що залежить від поводження системи й таким, що оптимальному функціонуванню системи відповідає максимальне або мінімальне значення критерію. Такий критерій називають критерієм оптимальності.

Якщо критерій оптимальності вказаний, то метою управління можна вважати досягнення максимального або мінімального значення критерію.

На рис. 1 у загальному виді зображена структурна схема КС. Символом  $\bar{x}$  позначений вектор параметрів, що характеризують стан системи:

$$\bar{x} = (x_1, \dots, x_N).$$

Вектор  $\bar{x}$  – це вихідна величина КС. Символом  $\bar{u}$  позначений вектор управляючих впливів на об'єкт із боку управляючого пристрою основного контуру:

$$\bar{u} = (u_1, \dots, u_M).$$

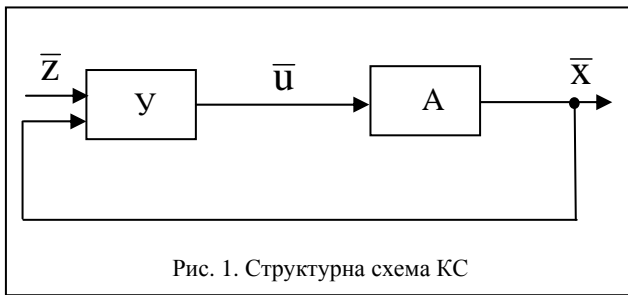


Рис. 1. Структурна схема КС

Символом  $\bar{z}$  позначений вектор задавальних впливів, що вказують, якою повинна бути вихідна величина:

$$\bar{z} = (z_1, \dots, z_N).$$

Програма роботи встановлюється людиною. Не обов'язково задаються значення для всіх складових вихідної величини  $\bar{x}$ . Однак у математичній моделі вектор  $\bar{z}$  можна вважати  $N$ -мірним, як і вектор  $\bar{x}$ . Але функції, що залежать від  $\bar{z}$  і використовуються нижче при описі моделі управління, будуть містити як незалежні змінні тільки ті координати вектора  $\bar{z}$ , які задаються в процесі управління.

Позначимо через  $x_k(t)$  значення величини  $x_k$  в момент часу  $t$ , а через  $\bar{x}(t)$  – вектор  $\bar{x}$  у момент  $t$ , тобто

$$\bar{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_N(t)). \quad (1)$$

Позначимо через  $\bar{u}(t)$  і  $\bar{z}(t)$  вектори  $\bar{u}$  й  $\bar{z}$  у момент  $t$ .

Функціонування об'єкта управління можна описати системою нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\frac{dx_k(t)}{dt} = f_k(x_1(t), \dots, x_N(t), u_1(t), \dots, u_M(t)), \quad (2)$$

$$(k = 1, \dots, N),$$

або у векторній формі:

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = \bar{f}(\bar{x}(t), \bar{u}(t)), \quad (3)$$

де  $f_k$  – деякі функції, а  $\bar{f}$  – векторна функція:

$$\bar{f} = (f_1, \dots, f_N). \quad (4)$$

Тут не передбачається, що функції  $f_k$  обов'язково відомі, передбачається тільки, що такі функції існують.

Замість системи диференціальних рівнянь для опису функціонування об'єкта управління можна було б використати систему нелінійних рівнянь у кінцевих різницях. Це означало б, що розглядається безперервно-дискретний об'єкт управління.

До характеристик КС відносяться також різні обмеження. Наприклад, що управляючі впливи не можуть мати будь-які значення, а внаслідок фізичних властивостей об'єкта не повинні виходити за деякі межі. Великий клас обмежень на управляючі впливи можна задати такими рівностями й нерівностями:

$$G_\mu(u_1, \dots, u_M) \leq 0; \quad (\mu = 1, \dots, m_1); \quad (5)$$

$$P_\nu(u_1, \dots, u_M) = 0; \quad (\nu = 1, \dots, m_2). \quad (6)$$

Ці обмеження можна записати у векторній формі:

$$\bar{G}(\bar{u}) \leq 0; \quad (7) \quad \bar{P}(\bar{u}) = 0, \quad (8)$$

де  $\bar{G}$  і  $\bar{P}$  – векторні функції. Умова  $\bar{G} \leq 0$  означає, що одночасно

$$\bar{G}_1 \leq 0, \dots, \bar{G}_{m_1} \leq 0.$$

Управляючий пристрій основного контуру виробляє управляючий вплив  $\bar{u}$  на основі інформації про вплив, що  $\bar{z}$  задає, і вихідній  $\bar{x}$  величині. Запишемо закон управління в загальному виді

$$u_k(t) = \Phi_k(x_1(t) - z_1(t), \dots, x_N(t) - z_N(t)), \quad (9)$$

$$(k = 1, \dots, M).$$

Функції  $\Phi_k$  невідомі. Задача синтезу управління складається у виборі цих функцій. Якщо функції обрані, то закон управління повністю визначений.

Закон управління записується у векторній формі

$$\bar{u}(t) = \bar{\Phi}(\bar{x}(t) - \bar{z}(t)). \quad (10)$$

Оптимальним законом управління для перехідного процесу можуть служити траєкторія вихідної величини  $\bar{x}(t)$  й управляючий вплив  $\bar{u}(t)$  (10), тобто для визначення функції  $\bar{\Phi}$  (або, що рівносильно, функцій  $\Phi_1, \dots, \Phi_m$ ) закон управління повинен бути таким, щоб для знайденої траєкторії  $\bar{x}(t)$  при постійному задавальному впливі  $\bar{z}(0)$  управляючий вплив дорівнював би  $\bar{u}(t)$  знайденому, тобто функція  $\bar{\Phi}$  повинна

$$\bar{u}(t) = \bar{\Phi}(\bar{x}(t) - \bar{z}(0)), \quad (11)$$

де  $\bar{x}(t)$  й  $\bar{u}(t)$  – відомі функції. Позначимо

$$\bar{y}(t) = \bar{x}(t) - \bar{z}(0), \quad (12)$$

функцію  $\bar{y}(t)$  теж можна вважати відомою.

Рівняння (12) можна записати тепер у такому вигляді

$$\bar{u}(t) = \bar{\Phi}(\bar{y}(t)) \quad (13)$$

$$\text{або} \quad u_k(t) = \Phi_k(\bar{y}(t)), \quad (k=1, \dots, m). \quad (14)$$

Функцію  $\Phi_k$  можна було б визначити, виключивши параметр  $t$  із залежності  $u_k(t)$  та  $y(t)$  і вирізавши в такий спосіб  $u_k$  через  $y$ .

Відшукання функцій  $\Phi_k$  може бути апроксимовано лінійною комбінацією

$$\Phi_k(\bar{y}) \approx \sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \phi_{k\mu}(\bar{y}), \quad (k=1, \dots, m), \quad (15)$$

де  $\phi_{k\mu}$  – відомі (обрані перед розрахунком) функції;  $\alpha_{\mu}$  – невідомі коефіцієнти.

При цьому відшукання функцій  $\Phi_k$  зводиться до визначення коефіцієнтів  $\alpha_{\mu}$ .

При апроксимації за формулами (15) коефіцієнти лінійних комбінацій вибираються однаковими для всіх функцій  $\Phi_1, \dots, \Phi_m$ . Це спрощує структуру функції  $\bar{\Phi}$ , однак не дозволяє забезпечити найкращу апроксимацію кожної функції  $\Phi_k$  окремо. Можна було б не вимагати, щоб сукупність коефіцієнтів лінійної комбінації (15) була однією й тією ж для всіх функцій  $\Phi_1, \dots, \Phi_m$ . Тоді процедуру визначення функцій  $\Phi_k$ , що приводиться нижче, треба трохи змінити.

При апроксимації за формулами (15) з рівняння (14) виходять такі рівняння для коефіцієнтів  $\alpha_{\mu}$ :

$$U_k(t) \approx \sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \phi_{k\mu}(\bar{y}(t)), \quad (k=1, \dots, m). \quad (16)$$

Коефіцієнти  $\alpha_{\mu}$  варто вибирати так, щоб зазначені наближені рівності були в деякому смислі можливо точніші. Будемо вибирати вказані коефіцієнти з умови мінімуму величини

$$I(a_1, \dots, a_R) = \int_0^T \sum_{k=1}^m [U_k(t) - \sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \phi_{k\mu}(\bar{y}(t))]^2 dt, \quad (17)$$

яка являє собою сумарну середньоквадратичну помилку апроксимації.

Розглянемо необхідні умови мінімуму (17):

$$\frac{dI}{da_1} = -2 \int_0^T \sum_{k=1}^m [U_k(t) - \sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \phi_{k\mu}(\bar{y}(t))] \phi_{k1}(\bar{y}(t)) dt = 0; \quad (18)$$

$$\frac{dI}{da_R} = -2 \int_0^T \sum_{k=1}^m [U_k(t) - \sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \phi_{k\mu}(\bar{y}(t))] \phi_{kR}(\bar{y}(t)) dt = 0.$$

Вийшла система  $R$  лінійних алгебраїчних рівнянь із  $R$  невідомими  $a_1, \dots, a_R$ . Цю систему зручніше представити в такому вигляді:

$$\sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \sum_{k=1}^m \int_0^T \phi_{k\mu}(\bar{y}(t)) \phi_{k1}(\bar{y}(t)) dt = \sum_{k=1}^m \int_0^T u_k(t) \phi_{k1}(\bar{y}(t)) dt; \quad (19)$$

$$\sum_{\mu=1}^R \alpha_{\mu} \sum_{k=1}^m \int_0^T \phi_{k\mu}(\bar{y}(t)) \phi_{kR}(\bar{y}(t)) dt = \sum_{k=1}^m \int_0^T u_k(t) \phi_{kR}(\bar{y}(t)) dt.$$

Отримані інтеграли, що входять у ці рівності, можуть бути обчислені. У результаті розв'язання цієї системи рівняння будуть визначені коефіцієнти  $a_1, \dots, a_R$ , а отже, і функції  $\Phi_1, \dots, \Phi_m$ , що описують закон управління.

### Вияновки

1. Запропоновані й досліджені різні закони управління, на основі яких стало можливо з достатнім наближенням для практики створити закон управління КС у процесі самого управління.
2. Теоретично обгрунтовані задачі оптимізації управління кібернетичною системою.
3. Розроблена методика розрахунку закону управління дозволяє організувати управління КС у цілому.

### Список літератури

1. Черепнев И.А. Принцип построения кибернетических систем для исследования воздействия электромагнитных полей на биологические объекты // *Вісник Міжнародного слов'янського університету. Серія "Технічні науки"*. – Х., 2005. – Т. VIII, № 1-2. – С.3-7.
2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. *Проблемы системологии*. – М.: Сов. радио, 1976. – 296 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
4. Антомонов Ю.Г. *Моделирование биологических систем: Справочник*. – К.: Наук. думка, 1977. – 259 с.
5. Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Понтрягин Л.С. *Теория оптимальных процессов. Принцип максимума*. – Изв. АН СССР. – Сер. математика 1. – 1960. – 25 с.
6. Цыпкин Я.З. *Адаптация и обучение в автоматических системах*. – М.: Наука, 1968. – 220 с.

Надійшла до редколегії 31.07.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмолов, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенко, Харків.