

# Системний аналіз задач та методів керування

Гриценко В.І.  
МННЦ ІТ та сист. НАН та МОНУ  
м. Київ, Україна  
vig@irtc.org.ua

Тимченко А.А., Триус Ю.В.  
Черкаський державний національний університет  
м. Черкаси, Україна  
tymchenkooa@ukr.net  
tryus@chdtu.edu.ua

**Анотація**—Надано результати аналізу етапів розвитку процесів керування з використанням складових загальної теорії систем, а саме: теорії категорій, моделей та методів мережеских структур, теорії і методів систем автоматичного регулювання, формальної теорії розв'язання задач, методів прикладного математичного аналізу, систем комп'ютерної математики, починаючи з прикладів конструювання перших автоматичних регуляторів і закінчуючи «Індустрією 4.0». Розглядається матеріальна енергоінформаційна мережа, вузлами якої є базові фізичні закони, наприклад, рух лінійного або обертового переміщення, збереження й перетворення енергії – теплової, електричної, ядерної і т. ін.

**Ключові слова**—системний підхід, системний аналіз, система автоматичного регулювання, інформаційні технології та системи.

Академіку О.Г. Івахненку присвячується

## ВСТУП

Як відомо, суть задач керування полягає в побудові на основі системного аналізу об'єкта керування (системи, процесу, об'єкта) такої абстрактної (математичної) моделі, яка дозволить отримати алгоритм управління ним в динаміці, для досягнення системою, процесом або об'єктом стану, який потрібен для досягнення цілей управління.

Теорія керування, як і будь-яка інша наука, має свої предмет, функцію, цілі, завдання та методи. При цьому методи теорії керування досить сильно різняться в залежності від області застосування і етапів розвитку.

Ця теорія швидко розвивається, особливо починаючи з останніх десятиліть ХХ століття, коли її принципи виявилися корисними при вирішенні задач комп'ютерного моделювання різних систем, процесів і об'єктів, що дозволяє істотно збільшити можливість комплексної автоматизації людської праці. Тому наукові та системні дослідження у цій галузі є досить актуальними і перспективними.

У роботі подано результати аналізу етапів розвитку процесів керування з використанням складових загальної теорії систем, а саме: теорії категорій, моделей та методів мережеских структур, теорії і методів систем автоматичного регулювання, формальної теорії розв'язання задач, методів прикладного математичного аналізу, систем комп'ютерної математики, починаючи з прикладів конструювання перших автоматичних регуляторів (1765 р. – І.І. Ползунов, 1785 р. – Дж. Ватт) [1] і закінчуючи «Індустрією 4.0», характерними рисами якої є повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов, розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація та роботизація виробничих процесів [2].

У дослідженні розглядається матеріальна енергоінформаційна мережа, вузлами якої є базові фізичні закони, наприклад, рух лінійного або обертового переміщення, збереження й перетворення енергії – теплової, електричної, ядерної і т. ін.

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ

Задачі керування можуть бути упорядковані відповідно до технологічної схеми дослідження:

*<синтез – структурний та параметричний>* → *<аналіз статичних та динамічних властивостей>* → *<оцінки, вибір та прийняття рішень>*.

В якості об'єктів дослідження розглядаються функціональні перетворювачі (табличні та формальні автомати), системи підтримки рівня в паровому котлі, системи стабілізації швидкості парової машини та їх взаємодії [1, 3].

Розглядаються ранні роботи з функціональних перетворень типу «Самонавчання формульних автоматів на базі теореми про збіжність, т.з. «полюсного газу» [3].

*Функціональний перетворювач. Етап структурного синтезу.* Розглянуто складові цього етапу у вигляді задач: формування об'єкта коригування, формування критеріальних вимог (функцій), структурного синтезу (при необхідності уточнення).

Структурний синтез містить такі складові:

- 1) Побудова моделі об'єкта з використанням закону вузла мережі (алгебраїчна сума входів і виходів вузла дорівнює нулю):

$$ax - by = 0, \Rightarrow ax = by, \Rightarrow x = k_1 y, k_1 = a^{-1} b, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{задання режиму } r_i = (x_i, y_i),$$

де  $y$  – вхід,  $x$  – вихід,  $a, b, k_1$  – параметри.

- 2) Формування критеріальних функцій секвенцій, функції-предикат, рівнянь, вимоги (критерії):

$$x \rightarrow |x_3, \Rightarrow x - x_3 = 0, \Rightarrow \alpha = [e \triangleq x - x_3 \Rightarrow 0],$$

$$\alpha = \{0, 1\},$$

де  $x_3$  – задане значення,  $\alpha$  – функція-предикат.

- 3) Використання алгоритму структурного синтезу закону коригування на основі розв'язання системи рівнянь відносно  $y$  – бажаного входу:

$$\{ax = by, x = x_3\} \Rightarrow ax_3 = by, \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y_3 = k_2 x_3, k_2 = b^{-1} a^*,$$

де  $y_3$  – закон корегування,  $k_2$  – параметр,  $a^*, b^*$  – змінні коефіцієнти.

- 4) Розв'язання системи рівнянь для знаходження виразу невідомого виходу  $x$ :

$$\{ax = by, b^* y = a^* x_3\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = k_3 x_3, k_3 = a^{-1} b b^* a^*.$$

- 5) Уточнення моделі об'єкту з урахуванням впливу адитивного збурення з:

$$ax - by - z = 0 \Rightarrow b^*y = a^*x_3 - z, z = z_3,$$

або  $z_3 = b^*y - a^*x$ ,  
де  $z_3$  – значення збурення.

*Етап параметричного синтезу* – пошук значення параметрів об'єкта (коефіцієнтів  $a, b$ ), а також значень коригуючих параметрів  $k_1, k_2, k_3$ . Задача традиційно розглядається як задача ідентифікації та розв'язується методами типу найменших квадратів або, як виняток, методом «обраних точок» [3].

Система автоматизованого регулювання рівня води в паровому котлі (резервуарі), на основі закону збереження маси води  $m_n$ , яка поступає в котел, та маси води, що використовується  $m_B$  [5]:

$$m_n - \frac{dm}{dt} - m = 0, \Rightarrow m_n = f_1(h, H), m = f_2(n, H),$$

де  $m$  – маса води,  $h$  – регулюючий орган,  $H$  – рівень води,  $n$  – навантаження,  $f_1, f_2$  – статичні характеристики.

У лінійному випадку рівняння об'єкту та рівняння бажаного руху:

$$T \frac{dH}{dt} + H = k_h h - k_n n, \Rightarrow H - H_3 = e,$$

$$\frac{de}{dt} + a_0 e = 0, \Rightarrow \dot{H}_3 = a_0(H - H_3),$$

де  $T$  – постійна часу,  $k_h$  – коефіцієнт регулюючого органу,  $k_n$  – коефіцієнт впливу навантаження,  $k_h = const, k_n = const, a_0$  – коефіцієнт підсилення.

Умовою синтезу є умова рівності похідних об'єкта і рівняння бажаного руху (теорема про властивість вищої похідної диференціального рівняння, як алгебраїчної функції), звідки знаходиться закон керування  $h$ :

$$\begin{aligned} \dot{H}_0 \rightarrow \dot{H}, \Rightarrow T[a_0(H_3 - H)] + H &= k_h h - k_n n, \Rightarrow \\ \Rightarrow k_h h &= T a_0 H_3 - (T a_0 H - H) + k_n n, \end{aligned}$$

де  $\dot{H}_0 - \dot{H} = 0$ ,  $n$ , – збурення, яке вимірюється.

Збурення  $n$  може бути виміряне опосередковано, використовуючи рівняння об'єкта, а саме:

$$k_n n = k_h h - (H + T \frac{dH}{dt}).$$

*Система стабілізації швидкості* парової машини. В основу моделі об'єкта обертового руху парової машини покладено закон вузла системи [6]:

$$M_0(\omega, \mu) - M_C(\omega, \rho) \frac{d\omega}{dt} = 0, \Rightarrow J \frac{d\omega}{dt} = D\mu + n\alpha, \omega = \dot{\varphi},$$

де  $\omega$  – кутова швидкість,  $\mu$  – керуючий вплив,  $M_0$  – момент обертання,  $M_C$  – момент супротиву,  $\rho$  – тиск пари,  $J$  – кутовий момент інерції,  $D$  – коефіцієнт керуючого впливу,  $n$  – навантаження,  $\varphi$  – кут повороту валу турбіни.

Відповідно до алгоритму проф. Щипанова Г.О. повинно бути задано рівняння бажаного руху регульованої змінної. Будемо вважати:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 e}{dt^2} + a_1 \frac{de}{dt} + a_0 e &= 0, e = \varphi - \psi, \Rightarrow \\ \Rightarrow \ddot{\varphi} &= a_0(\psi - \varphi) + a_1 \dot{\varphi}; \psi = 0, \end{aligned}$$

де  $a_0, a_1$  – коефіцієнти якості керування,  $\psi$  – задане значення швидкості обертання.

Тоді критеріальна функція, критерій та закон керування мають вигляд:

$$\begin{aligned} \varepsilon = \ddot{\varphi}_0 - \ddot{\varphi}, \Rightarrow \varepsilon = 0, \Rightarrow \\ \Rightarrow J[a_0(\psi - \varphi) + a_1 \dot{\varphi}] - n\alpha = D\mu \end{aligned}$$

де  $\varepsilon$  – кутове прискорення.

Закон керування критеріальною функцією включає вимірювані величини, в тому числі збурення, що являє собою комбіновану систему керування. В протилежному випадку, збурення знаходиться з моделі об'єкта керування  $n\rho = J\ddot{\varphi} - D\mu$ , тоді необхідно вимірювання другої похідної (сил інерції) та максимального швидко компенсувати збурення (додатні зворотні зв'язки) [3, 6].

У подальшому розвивалися методи розв'язування задач дослідження системних властивостей, а саме: стійкості, якості керування, оптимальності, інваріантності та ін. в межах класичної теорії керування, а пізніше – сучасної теорії керування: координованості, керованості, спостереженості, з використанням моделей [7]:

$$\begin{aligned} AX = BY \Rightarrow \dot{X} &= AX + BY \Rightarrow \dot{X} = AX + BU \Rightarrow \\ \Rightarrow U &= CX + BZ. \end{aligned}$$

## ВИСНОВКИ

Розглянуто в ретроспективі початкові кроки винахідників термінів у галузі становлення сучасних засобів комплексної автоматизації. Можна зробити висновок, що людина є самою консервативною ланкою процесів автоматизації, але вона з інтелектуальної точки зору створює засоби автоматизації на основі сучасної комп'ютерної техніки. В першу чергу, це перспективні комп'ютерні інформаційні технології на базі сучасних засобів комп'ютерної математики та методів прикладного системного аналізу [5].

## ЛІТЕРАТУРА

- [1] Вишнеградский И.А. О регуляторах прямого действия // Известия Санкт-Петербургского Практического технологического института. –С.П.-б., 1877.
- [2] Индустрия 4.0. <https://www.it.ua/knowledgebase/technology-innovation/industry-4> (дата звернення 01.08.2020).
- [3] Ивахненко А.Г. Кибернетические системы с комбинированным управлением. –Киев: Техника. –1966. –285 с.
- [4] Жук К.Д., Тимченко А.А., Доленко Т.И. Исследование структур и моделирование логико-динамических систем. –К.: Изд-во «Наукова думка», 1975. –199 с.
- [5] Основы теории автоматического регулирования. Учебник: Под ред. Крутова. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. –308 с.
- [6] Щипанов Г.А. Теория и методы проектирования автоматических регуляторов // Автоматика и телемеханика, 1939. –№2. –С. 49-66.
- [7] Гриценко В.І., Тимченко А.А., Триус Ю.В. Комп'ютерні інформаційні технології як об'єкт створення і впровадження // Автоматика – 2017. Тези конференції. Київ: НУВІП 2017. – С. 145-146.