

КВАСКО М. З., к.т.н., проф.; ЖУРАКОВСЬКИЙ Я. Ю., ст. викл.;
МИЛЕНЬКИЙ В. В., к.т.н., доц.; НОСОВ А. О., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КЕРУВАННЯ ВИПАРЮВАННЯМ В АПАРАТІ ЗАНУРЕНОГО ГОРІННЯ

Побудовано систему керування апаратом зануреного горіння як двовимірним об'єктом із взаємозалежними перехресними зв'язками. Запропоновано структуру системи незалежного керування кожною змінною із використанням цифрових регуляторів і цифрових компенсаторів.

Ключові слова: апарат зануреного горіння, двовимірний об'єкт, система керування.

© Кваско М. З., Жураковський Я. Ю., Миленький В.В., Носов А.О., 2014.

Постановка проблеми. Більшість хіміко-технологічних процесів є динамічними системами з багатьма керованими змінними, пов'язаними між собою через об'єкт керування. Щоб забезпечити якість процесу керування в системах автоматичного регулювання із взаємозалежними керованими змінними, необхідно компенсувати вплив внутрішніх зв'язків об'єкта керування шляхом введення в систему цифрових компенсаторів.

Метою статті є аналіз структури системи керування випарювання у випарнику зануреного горіння та розрахунок передавальних функцій компенсаторів.

Виклад основного матеріалу. Прикладом об'єкта з багатьма взаємопов'язаними керованими змінними є апарат зануреного горіння (АЗГ) [1] в якому необхідно регулювати рівень і концентрацію розчину (рис. 1).

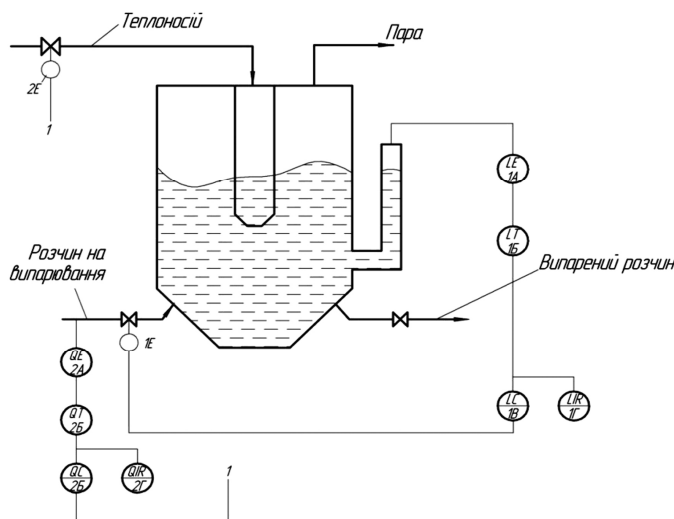
Випарний АЗГ є об'єктом із двому взаємозалежними перехресними зв'язками [2], оскільки концентрація залежить не лише від кількості випареної води, але й від висоти рівня рідини в апараті (рис. 2). Щоб компенсувати перехресні зв'язки між цими змінними, необхідно ввести в систему автоматичного регулювання компенсатори.

Зображення керованих значень концентрації й рівня розчину [3]:

$$Y_1(z)=[W_{11}(z)D_{11}(z)+W_{12}(z)D_{21}(z)]E_1(z)+[W_{11}(z)D_{12}(z)+W_{12}(z)D_{22}(z)]E_2(z);$$

$$Y_2(z)=[W_{21}(z)D_{12}(z)+W_{22}(z)D_{22}(z)]E_2(z)+[W_{21}(z)D_{11}(z)+W_{22}(z)D_{21}(z)]E_1(z),$$

де $Y_1(z)$ – вихідне значення концентрації рідини в АЗГ; $Y_2(z)$ – вихідне значення рівня рідини в АЗГ; $W_{11}(z)$, $W_{12}(z)$, $W_{21}(z)$, $W_{22}(z)$ – дискретні передавальні функції відповідних об'єктів керування; $D_{11}(z)$, $D_{22}(z)$ – дискретні передавальні функції цифрових регуляторів; $D_{12}(z)$, $D_{21}(z)$ – дискретні передавальні функції цифрових компенсаторів; $E_1(z)$ і $E_2(z)$ – зображення розузгодженості між зображеннями заданого й поточного значень концентрації й рівня рідини в АЗГ.



1А, 1Б, 1В, 1Г, 1Е – датчик, перетворювач, регулювальні прилад та орган контура керування рівнем;

2А, 2Б, 2В, 2Г, 2Е – датчик, перетворювач, регулювальний прилад та орган контура керування концентрацією

Рис. 1 – Схема регулювання

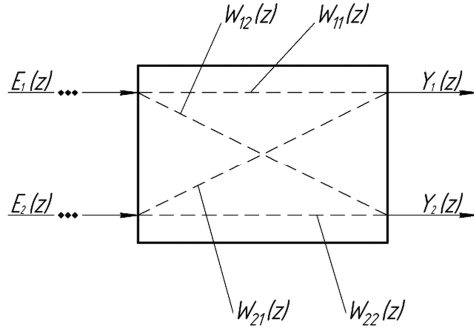


Рис. 2 – Схема зв'язків в АЗГ

$$W_{12}(z) = k_{12} \left(1 - e^{-T^m/T_{12}}\right) z^{-(\tau_{12}/T^m + 1)} / \left(1 - e^{-T^m/T_{12}} z^{-1}\right); \quad W_{21}(z) = k_{21} \left(1 - e^{-T^m/T_{21}}\right) z^{-(\tau_{21}/T^m + 1)} / \left(1 - e^{-T^m/T_{21}} z^{-1}\right),$$

де $k_{11}, k_{22}, k_{12}, k_{21}$ – коефіцієнти підсилення каналів керування; T^I, T^II, T^III, T^IV – періоди дискретизації; $T_{11}, T_{22}, T_{12}, T_{21}$ – сталі часу каналів керування; $\tau_{11}, \tau_{22}, \tau_{12}, \tau_{21}$ – коефіцієнти запізнення каналів керування.

Дискретні передавальні функції замкнених систем концентрації та рівня:

$$W_{13}(z) = \left(1 - e^{-T^I/T_{13}}\right) z^{-(\tau_{11}/T^I + 1)} / \left(1 - e^{-T^I/T_{13}} z^{-1}\right);$$

$$W_{23}(z) = \left(1 - e^{-T^I/T_{23}}\right) z^{-(\tau_{22}/T^I + 1)} / \left(1 - e^{-T^I/T_{23}} z^{-1}\right),$$

де T_{13} і T_{23} – сталі часу замкненої системи регулювання концентрації та рівня.

Зображення керованих значень:

$$Y_1(z) = \frac{W_{13}(z)E_1(z)}{(1 - W_{13}(z))}; \quad Y_2(z) = \frac{W_{23}(z)E_2(z)}{(1 - W_{23}(z))},$$

або, враховуючи передавальні функції:

$$Y_1(z) = \frac{\left(1 - e^{-\frac{T^I}{T_{13}}}\right) z^{-(\frac{\tau_{11}}{T^I} + 1)} E_1(z)}{1 - e^{-\frac{T^I}{T_{13}}} z^{-1} - \left(1 - e^{-\frac{T^I}{T_{13}}}\right) z^{-(\frac{\tau_{11}}{T^I} + 1)}}, \quad Y_2(z) = \frac{\left(1 - e^{-\frac{T^I}{T_{23}}}\right) z^{-(\frac{\tau_{22}}{T^I} + 1)} E_2(z)}{1 - e^{-\frac{T^I}{T_{23}}} z^{-1} - \left(1 - e^{-\frac{T^I}{T_{23}}}\right) z^{-(\frac{\tau_{22}}{T^I} + 1)}}.$$

Порівнюючи ці вирази з попередніми для $Y_1(z)$ і $Y_2(z)$:

$$\begin{cases} W_{11}(z)D_{11}(z) + W_{12}(z)D_{21}(z) = \left(1 - e^{-T^I/T_{13}}\right) z^{-(\tau_{11}/T^I + 1)} / \left[1 - e^{-T^I/T_{13}} z^{-1} - \left(1 - e^{-T^I/T_{13}}\right) z^{-(\tau_{11}/T^I + 1)}\right] \\ W_{21}(z)D_{12}(z) + W_{22}(z)D_{22}(z) = \left(1 - e^{-T^I/T_{23}}\right) z^{-(\tau_{22}/T^I + 1)} / \left[1 - e^{-T^I/T_{23}} z^{-1} - \left(1 - e^{-T^I/T_{23}}\right) z^{-(\tau_{22}/T^I + 1)}\right] \end{cases}$$

або в матричній формі:

$$\begin{bmatrix} W_{11}(z) & W_{12}(z) \\ W_{21}(z) & W_{22}(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{11}(z) & D_{12}(z) \\ D_{21}(z) & D_{22}(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(z) & 0 \\ 0 & B(z) \end{bmatrix},$$

$$\text{де } A(z) = \left(1 - e^{-T^I/T_{13}}\right) z^{-(\tau_{11}/T^I + 1)} / \left[1 - e^{-T^I/T_{13}} z^{-1} - \left(1 - e^{-T^I/T_{13}}\right) z^{-(\tau_{11}/T^I + 1)}\right],$$

$$B(z) = \left(1 - e^{-T^I/T_{23}}\right) z^{-(\tau_{22}/T^I + 1)} / \left[1 - e^{-T^I/T_{23}} z^{-1} - \left(1 - e^{-T^I/T_{23}}\right) z^{-(\tau_{22}/T^I + 1)}\right].$$

Розв'язок цього рівняння відносно передавальних функцій цифрових регуляторів і компенсаторів:

$$\begin{bmatrix} D_{11}(z) & D_{12}(z) \\ D_{21}(z) & D_{22}(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(z) & 0 \\ 0 & B(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11}(z) & W_{12}(z) \\ W_{21}(z) & W_{22}(z) \end{bmatrix}^{-1},$$

звідки дискретні передавальні функції цифрових регуляторів і компенсаторів, необхідні для автономного керування двома взаємозалежними змінними:

$$D_{11}(z) = \frac{W_{22}(z)A(z)}{W_{11}(z)W_{22}(z) + W_{12}(z)W_{21}(z)}; \quad D_{22}(z) = \frac{W_{11}(z)A(z)}{W_{11}(z)W_{22}(z) + W_{12}(z)W_{21}(z)};$$

$$D_{21}(z) = \frac{W_{21}(z)A(z)}{W_{11}(z)W_{22}(z) + W_{12}(z)W_{21}(z)}; \quad D_{12}(z) = \frac{W_{12}(z)A(z)}{W_{11}(z)W_{22}(z) + W_{12}(z)W_{21}(z)}.$$

Якщо не враховувати запізнення, ці вирази можна суттєво спростити.

Щоб система автоматичного регулювання концентрації рідини не здійснювала вплив на систему автоматичного регулювання рівня рідини в апараті та навпаки, необхідно, щоб:

$$W_{21}(z)D_{11}(z) + W_{22}(z)D_{21}(z) = 0;$$

$$W_{11}(z)D_{12}(z) + W_{12}(z)D_{22}(z) = 0.$$

Тоді:

$$Y_1(z) = [W_{11}(z)D_{11}(z) + W_{12}(z)D_{21}(z)]E_1(z);$$

$$Y_2(z) = [W_{21}(z)D_{12}(z) + W_{22}(z)D_{22}(z)]E_2(z).$$

Дискретні передавальні функції [3]:

$$W_{11}(z) = k_{11} \left(1 - e^{-T^I/T_{11}}\right) z^{-(\tau_{11}/T^I + 1)} / \left(1 - e^{-T^I/T_{11}} z^{-1}\right);$$

$$W_{22}(z) = k_{22} \left(1 - e^{-T^II/T_{22}}\right) z^{-(\tau_{22}/T^II + 1)} / \left(1 - e^{-T^II/T_{22}} z^{-1}\right);$$

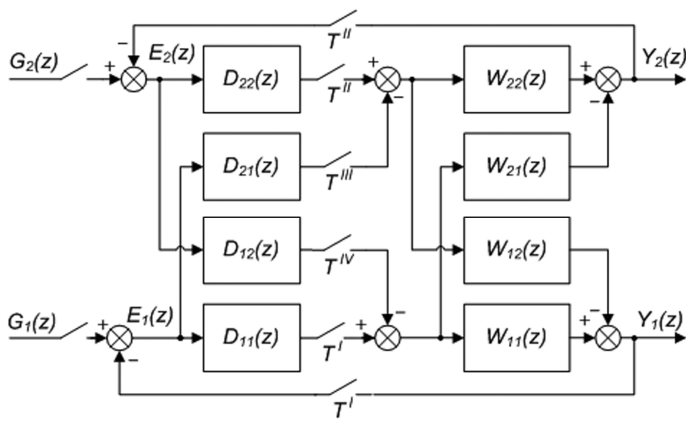


Рис. 3 – Структурна схема системи автоматичного керування з двома взаємозалежними перехресними зв'язками

Структурну схему автоматичного керування з двома взаємозалежними перехресними зв'язками наведено на рис. 3. На ній: $G_1(z)$ і $G_2(z)$ – вхідні значення концентрації та рівня; $E_1(z)$ і $E_2(z)$ – зображення розузгодженості між зображеннями заданого та поточного значень концентрації та рівня; $D_{11}(z)$, $D_{22}(z)$ – дискретні передатні функції цифрових регуляторів; $D_{12}(z)$ і $D_{21}(z)$ – дискретні передатні функції цифрових компенсаторів; $W_{11}(z)$, $W_{12}(z)$, $W_{22}(z)$, $W_{21}(z)$ – дискретні передатні функції різних каналів об'єкта керування; T^I , T^{II} , T^{III} , T^{IV} – періоди дискретизації; $Y_1(z)$ і $Y_2(z)$ – вихідні значення концентрації та рівня.

Висновки. Дослідження властивостей двовимірної системи автоматичного

регулювання із взаємозалежними, через об'єкт керування, змінними, свідчать, що для незалежного керування кожною змінною необхідно одержати «розв'язку» за допомогою цифрових регуляторів і компенсаторів.

Список використаної літератури

1. Удыма П. Г. Аппараты с погружными горелками / П. Г. Удыма. – М. : Машиностроение, 1973. – 272 с.
 2. Алабовский А. Н. Выпарные аппараты погружного горения / А. Н. Алабовский. – К. : Вища шк., 1980. – 120 с.
- Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий / Э. В. Цешковский, Н. С. Пиргач, Г. Д. Ерашкин и др. – М. : Лесн. пром-ть, 1989. – 368 с.