

Д. О. Ковалюк, к. т. н., доц.; О. О. Ковалюк, к. т. н., доц.

ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З РІЗНИМИ ТИПАМИ РЕГУЛЯТОРІВ

У статті досліджено роботу систем керування з різними типами регуляторів на прикладі ацетиленового генератора. Отримано їхні перехідні характеристики та розраховано показники якості. Наведено рекомендації для доцільності застосування ПД, нечіткого, адаптивного та нейромережевого регуляторів.

Ключові слова: технологічний процес, система керування, регулятор, моделювання.

Вступ

Системи керування технологічними процесами є надзвичайно важливими, оскільки багато в чому визначають якість кінцевої продукції та її собівартість. Важливість системи керування та якість її функціонування суттєво зростають для промислових об'єктів неперервної дії з великими обсягами виробництва. Також варто враховувати чинник небезпечних виробництв. Одним із таких процесів є виробництво ацетилену – важливого та поширеного компонента промисловості.

Аналіз проблеми

Незважаючи на різні методи виробництва ацетилену, одним із найпоширеніших залишається так званий карбідний метод, де вхідною сировиною є карбід кальцію, який подають у воду [1]. Технологічно цей метод виробництва реалізується в ацетиленовому генераторі, де під час розкладу карбіду виділяється ацетилен. Отримання ацетилену супроводжується виділенням великої кількості тепла, що створює небезпеку сильного перегріву реакційної маси, а за недостатнього охолодження може спричинити вибух. Це зумовлює актуальність розробки системи керування ацетиленовим генератором, зокрема його температурним режимом.

Аналіз робіт показує, що переважна більшість діючих на виробництві систем керування реалізовано на основі класичних підходів теорії управління, які досить просто реалізуються за допомогою ПД-регуляторів. Разом із тим такі системи не завжди можуть забезпечувати необхідну якість управління, особливо в умовах складності, інерційності, випадкових збурень, наявності якісної й неповної інформації [2, 3].

Тому метою роботи є підвищення ефективності керування процесом за допомогою порівняння різних типів систем керування та розробка рекомендацій щодо доцільності їх застосування.

Математична модель об'єкта і налаштування ПД-регулятора

На основі проведеного аналізу можна зробити висновки, що найважливішим параметром процесу є температура в апараті. Це пояснюється тим, що взаємодія карбіду кальцію з водою відбувається досить бурхливо зі значним виділенням тепла, а для нормального протікання процесу потрібно підтримувати задану температуру.

Керувати температурним режимом генератора можна декількома способами: змінюючи витрати карбіду або витрати води. Витрати карбіду кальцію можна змінювати за допомогою швидкості обертання барабана. Натомість, витрати води можна легко змінювати за допомогою клапана. Саме цей спосіб використовують на практиці, тому за канал керування беремо «Витрати води на охолодження – температура в апараті».

На основі рівнянь матеріальних балансів, використавши лінеаризацію й перетворення

Лапласа, отримали таку передатну функцію каналу керування [4]:

$$W(p) = \frac{1.54}{10.61p + 1} \cdot e^{-9.2p}$$

Оскільки найважливішим показником якості системи керування є точність, то в якості параметра ефективності системи керування обираємо мінімум середньоквадратичного відхилення. Синтез параметрів ПД-регулятора налаштовуємо в інтерактивному режимі в середовищі Control System Toolbox.

Система керування з нечітким регулятором

Зараз поряд із класичними регуляторами поширення набули нечіткі алгоритми керування. Детально переваги нечітких систем та методику їх створення описано в роботах [2, 3, 5]. Для створення регулятора використано класичну схему, представлену на рис. 1.

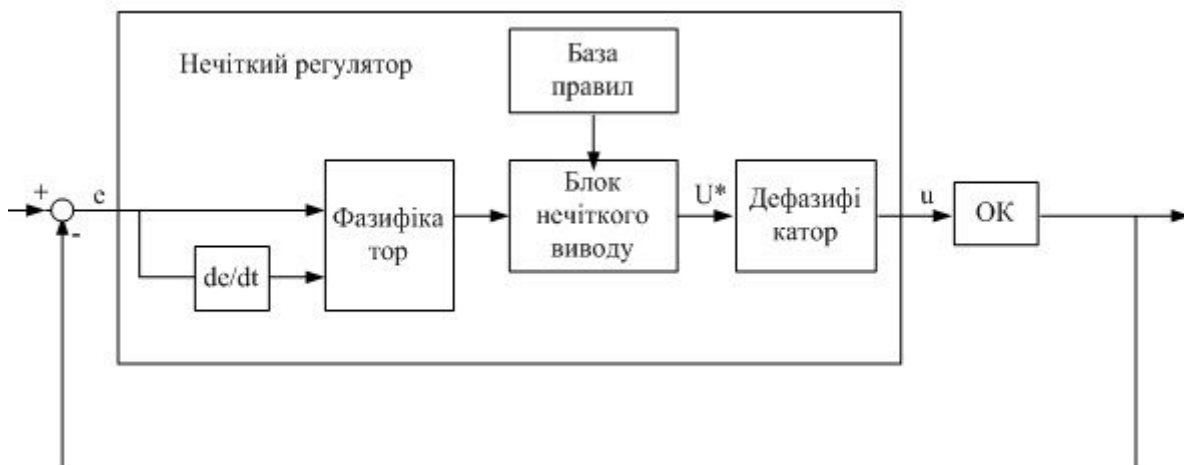


Рис. 1. Система керування з нечітким регулятором

Нечітка системи керування створена в середовищі Fuzzy Logic Toolbox пакету Matlab і описана в роботі [4].

Система керування з адаптивним регулятором

Як показано у [2], адаптивні системи дозволяють розв'язувати низку важливих задач керування:

- 1) здійснити оптимізацію роботи об'єкта;
- 2) забезпечити працездатність системи з необхідними показниками якості за умов, коли властивості об'єкта змінюються;
- 3) підвищити надійність складних систем, уніфікувати алгоритми керування для класів об'єктів;
- 4) зменшити вимоги до процесу проектування систем за рахунок подальшого поповнення інформації в процесі функціонування.

Для розв'язання цих задач використовують два підходи: зміна структури регулятора й зміна параметрів регулятора. У роботі пропонуємо другий варіант, зображений на рис. 2. Система працює так:

- 1) аналізують похибку керування (її значення, швидкість зміни, суму);
- 2) на основі цієї інформації в блоці адаптації розраховують параметри регулятора;
- 3) сигнал керування обчислюють на основі ПД-закону.

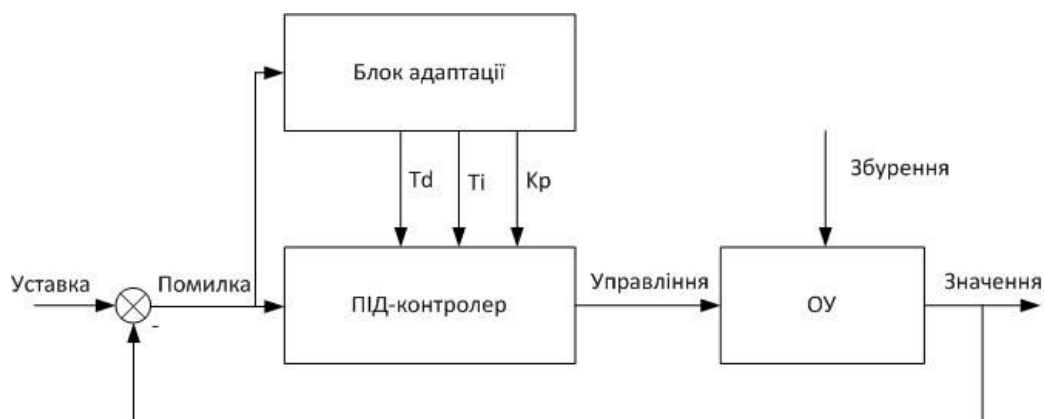


Рис. 2. Структура адаптивної системи

Для реалізації наведеного вище алгоритму нечіткого моделювання використано середовище Simulink та інструментарій Fuzzy Logic Toolbox [6]. У редакторі системи (Fuzzy Inference System Editor) застосовано тип системи Мамдані, задано входи: $\varepsilon(k)$ – значення помилки, $\Delta\varepsilon(k)$ – швидкість зміни помилки (похідна), $\int\varepsilon(k)$ – інтеграл помилки. Виходи моделі – коефіцієнти регулятора.

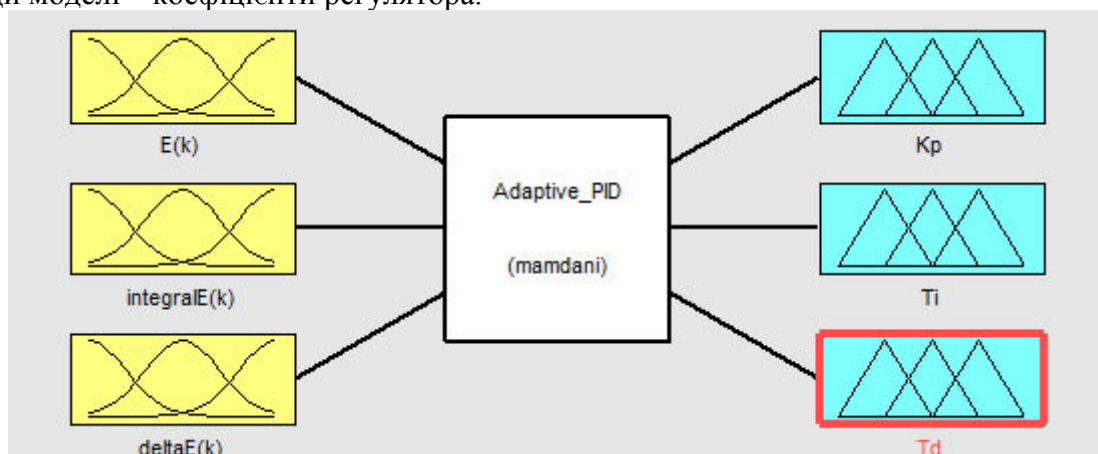


Рис. 3. Структура нечіткого блоку адаптації

Моделювання системи керування з нейромережним регулятором

На сьогодні існує більше семи способів використання нейронних мереж у системах керування [7]. Одним з найпростіших є системи нейрокерування, у яких нейроконтролер навчається на прикладах динаміки звичайного контролера по зворотньому зв'язку на основі ПІД-схеми управління. Схема наслідувального нейрокерування показана на рис. 4.

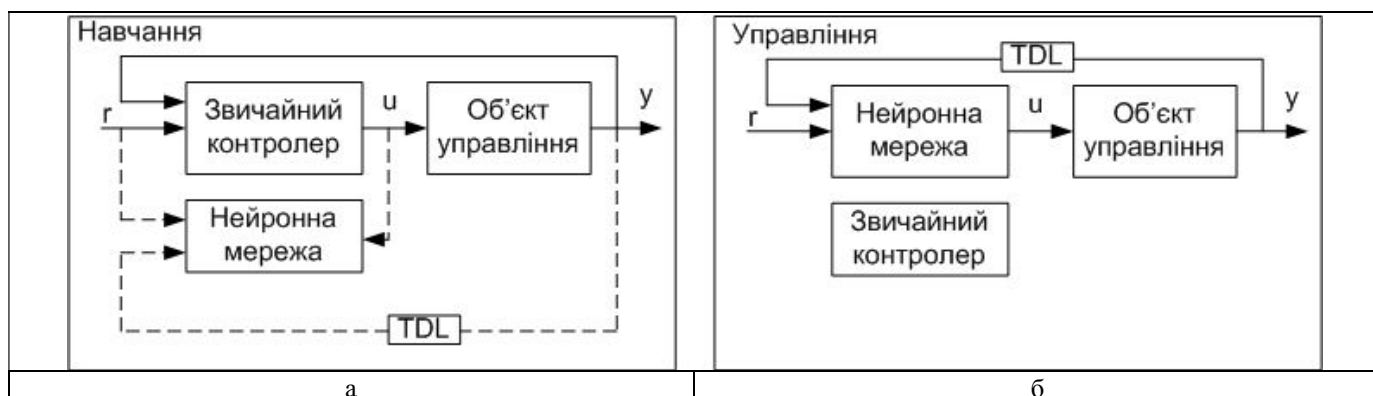


Рис. 4. Схема наслідувального нейрокерування:

а) режим навчання нейронної мережі; б) режим керування

Після навчання нейронна мережа точно відтворює функції заданого контролера й підключається замість вихідного контролера. Отриманий нейроконтролер може бути більш вигідним економічно, ніж вихідний контролер. Основним недоліком цього методу є необхідність у попередньо налаштованому вихідному контролері, що не завжди можливо. Крім того, отриманий шляхом навчання нейроконтролер у принципі не може забезпечити кращу якість управління, ніж існуючий регулятор.

Тому наслідувальне нейрокерування застосовують переважно для первинного навчання нейронної мережі з використанням інших методів для подальшого донавчання нейроконтролера.

Архітектура нейронної мережі складається з двох шарів та 20 нейронів у прихованому шарі. Побудову нейронної мережі виконують у Matlab з використанням команди `nftool`, яка дозволяє побудувати нейронну мережу бажаного типу. Інтерфейс програми наведено на рис. 5:

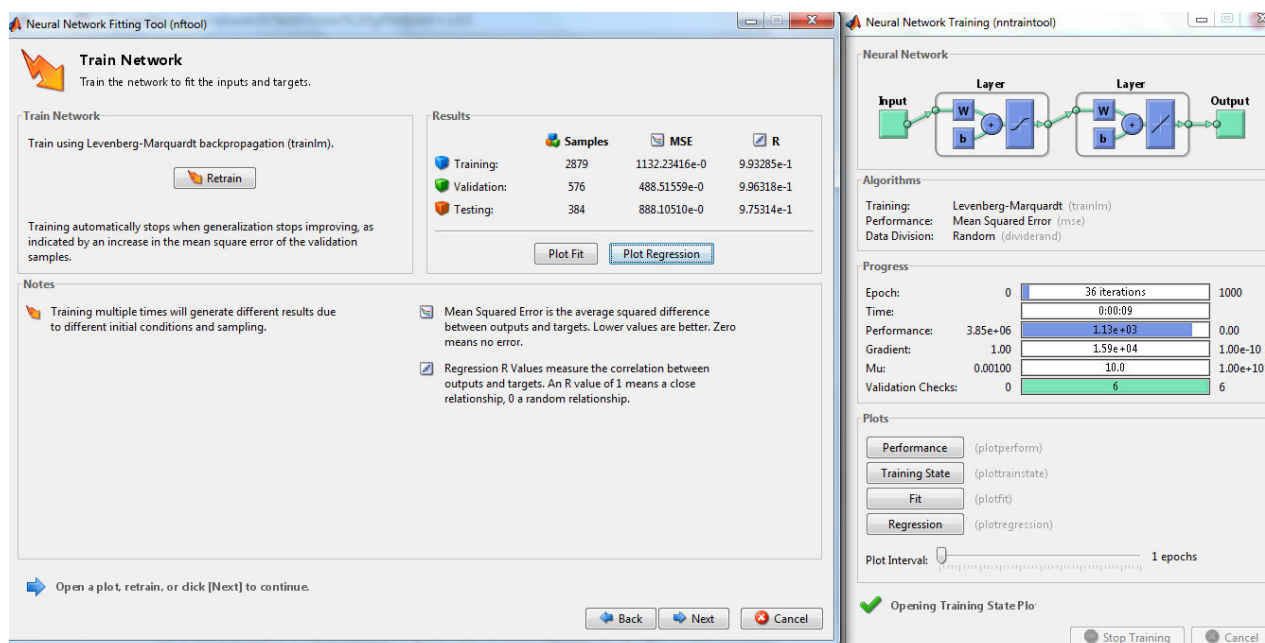


Рис. 5. Інтерфейс nftool Matlab. Результати тренування НМ

Навчання нейронної мережі здійснювалося на вибірці, отриманій шляхом дослідження дії на об'єкт керування випадкових впливів. Розмір вибірки – 3893 точок. Вхідному значенню відповідають значення помилки, цільовому значенню – вибірка керівних впливів, які виходять з регулятора (ПД-регулятор у класичному контурі).

Порівняння систем керування

Усі мережі були промодельовані в середовищі Simulink. Схема моделювання показана на рис. 6. Для більш зручного аналізу дані завантажені з блоку Scope у Workspace та занесені в таблицю. Після чого розраховані показники точності систем керування.

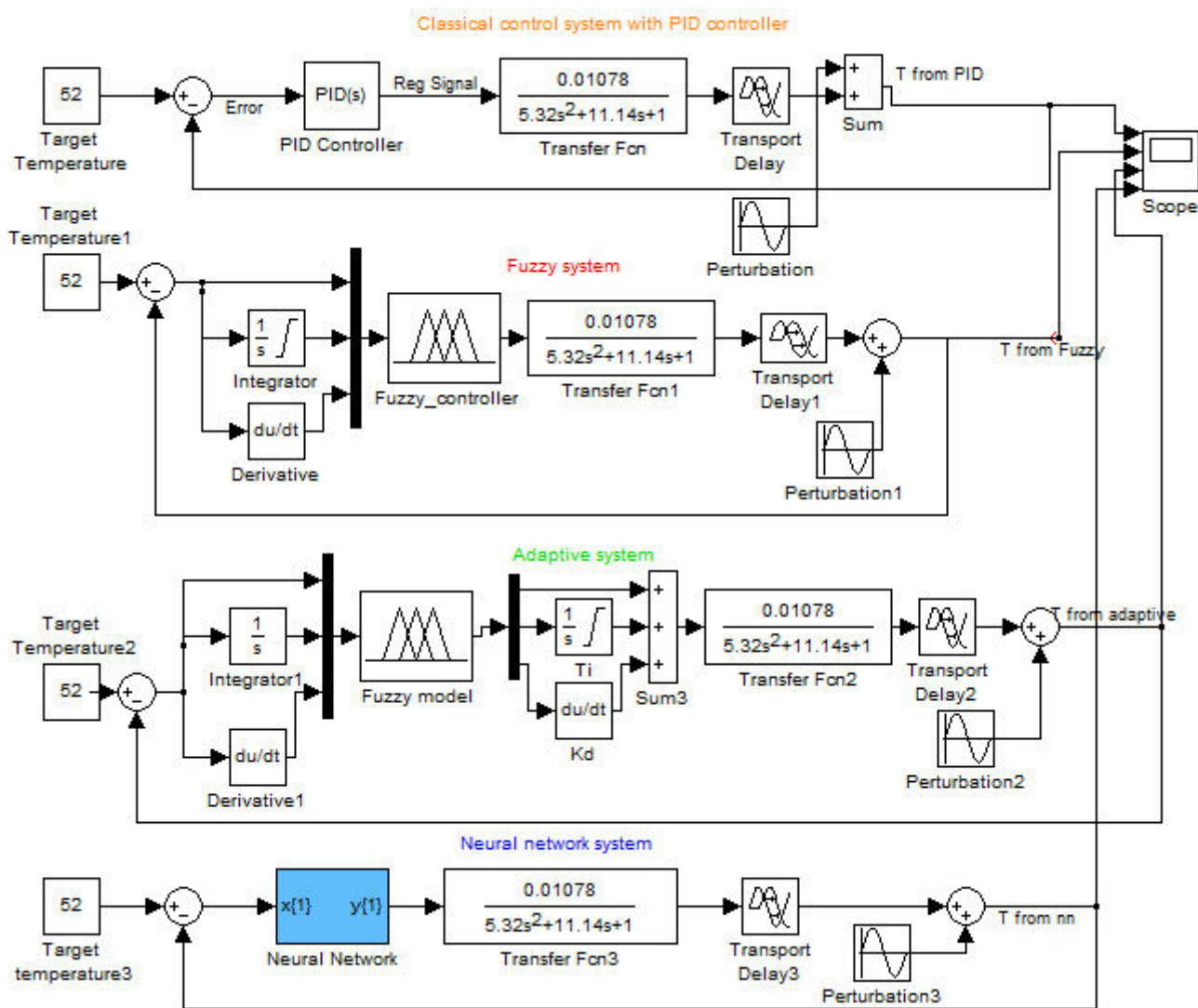


Рис. 6. Схеми моделювання систем керування в Simulink

Перерегулювання розраховано за формулою:

$$\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} \cdot 100\%$$

Інтегральний показник розраховано за формулою:

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (52 - y_i)^2.$$

Результати експериментальних досліджень

Перехідні процеси в кожній системі показані на рис. 7. Кількісні показники наведені в таблиці 1.

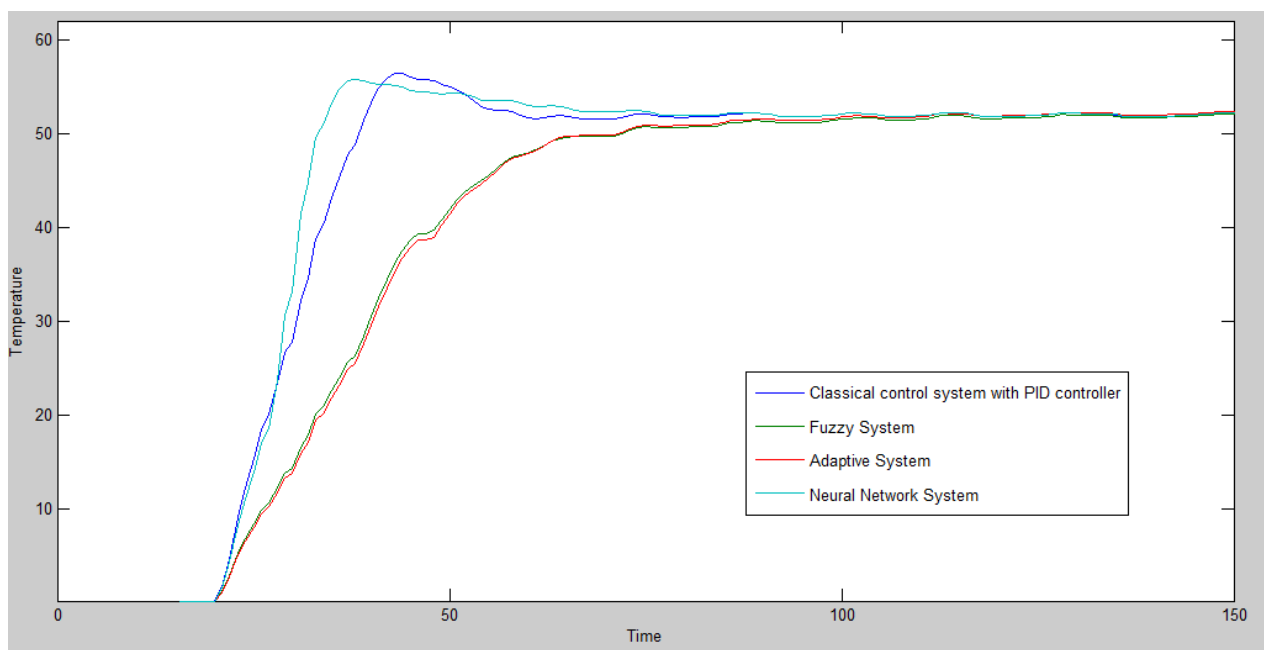


Рис. 7. Графіки перехідних процесів

Таблиця 1

Результати моделювання

	АСР з ПІД-регулятором	АСР с fuzzy-регулятором	Адаптивна АСР з нечітким блоком адаптації	АСР зі спеціалізованим нейронним керуванням
Перерегулювання, %	8,5%	0,3%	0,82%	7,2%
Тривалість перехідного процесу, с	64	97	97	67
Інтегральний показник якості	173,99	211,72	214,27	171,68

Висновки

Із таблиці та графіків можна зробити такі висновки:

1. Найшвидше на заданий режим виходить АСР з ПІД-регулятором, найповільніше – АСР з нечітким регулятором, що може бути пов'язане з необхідністю оптимізації функцій належності чи збільшення кількості термів.
2. Найбільше перерегулювання спостерігають у АСР з ПІД-регулятором, причому налаштування здійснювалося автоматично, тобто покращити цей результат суттєво неможливо. Найменше перерегулювання – у АСР з fuzzy-регулятором, що пояснюється повільним та поступовим виходом на усталений режим, без стрибків. Такий самий результат показує і адаптивна система за рахунок використання нечіткої моделі в якості блоку адаптації.
3. Інтегральний показник якості найменший у АСР зі спеціалізованим нейронним керуванням, що вказує на найменшу похибку керування; найгірший показник – у АСР з fuzzy-регулятором.

Окрім аналізу часових критеріїв, виконано порівняння систем керування за іншими критеріями, результати якого наведено в таблиці 2.

Порівняння систем керування

Система / Критерій	АСР з ПІД-регулятором	АСР з fuzzy-регулятором	Адаптивна АСР з нечітким блоком адаптації	АСР зі спеціалізованим нейронним керуванням
Математична модель	Обов'язкова	Не обов'язкова	Не обов'язкова	Не обов'язкова
Обчислювальна складність	Середня	Невисока	Невисока	Висока
Наявність розробок-аналогів для хім. реакторів	Наявні	Наявні	Частково наявні	Відсутні
Витрати людських ресурсів на побудову системи	Невисокі: Оператор	Оператор-експерт, який має створити правила; розробник	Оператор-експерт, який має створити правила; розробник	Оператор-експерт, який має надати тестову вибірку; спеціаліст із нейронних мереж
Час відгуку моделі протягом моделювання системи	Моделювання відбувається швидко (Matlab)	Моделювання відбувається швидко (Matlab)	Час моделювання тривалий, якщо не виставити правильно блок обмеження на інтегральний складник (Matlab)	Потребує час на навчання, можлива необхідність декількох перетренувань НМ і навіть зміна архітектури НМ (Matlab)

Отже, кожна із систем керування має переваги й недоліки за різними показниками якості. Немає системи, яка переважала б решту за всіма показниками. Вибір відповідної архітектури системи керування необхідно здійснювати на основі технологічного регламенту та економічного забезпечення процесу, і його визначає розробник.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонов В. Н. Производство ацетилена / В. Н. Антонов, А. С. Лapidус. – М. : Химия, 1970. – 416 с.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления : Учебник / [под ред. Н. Д. Егупова]. – [2-е изд. стереотипное]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 744 с.
3. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления / В. И. Гостев. – К. : «Радиоаматор», 2008. – 972 с.
4. Жученко А. І. Нечітка система керування температурним режимом ацетиленового генератора / А. І. Жученко, Д. О. Ковалюк, Є. В. Дзюба // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 48 – 51.
5. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / А. Ю. Леоненков. – С.-Птб. : БХВ, 2003. – 720 с.
6. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая Линия - Телеком, 2007. – 288 с.
7. Сигеру Омату Нейроуправление и его приложения / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. – М. : ИПРЖР, 2000. – 272 с.

Ковалюк Дмитро Олександрович – к. т. н., доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Ковалюк Олег Олександрович – к. т. н., доцент кафедри комп'ютерних систем управління. Вінницький національний технічний університет.