

Ю.М. СЛАНЬ, магістр

В.Г. ТРЕГУБ, доктор технічних наук

Національний університет харчових технологій

## СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З НЕЙРОМЕРЕЖНИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Стаття присвячена побудові та дослідженню систем автоматичного регулювання з нейромережними регуляторами в умовах невизначеності динамічних параметрів об'єкта. В дослідженні показано послідовність створення нейромережних регуляторів і на основі комп'ютерного експерименту доведено переваги застосування їх перед лінійними (типовими) законами регулювання. За критерій оцінки якості роботи систем з типовими і нейромережними регуляторами обрано дисперсію розузгодження.

Статья посвящена построению и исследованию систем автоматического регулирования с нейросетевыми регуляторами в условиях неопределённости динамических параметров объекта. В исследовании показана последовательность создания нейросетевых регуляторов и на основе компьютерного эксперимента доказаны преимущества их использования перед линейными (типовыми) законами регулирования. Критерием оценки качества работы систем с типовыми и нейросетевыми регуляторами выбрана дисперсия рассогласования.

Ускладнення, які виникають при автоматизації харчових виробництв, пов'язані зі змінням якості сировини протягом сезону її перероблення, що призводить до невизначеності змін динамічних параметрів об'єкта [1–4]. Застосування мікропроцесорних систем керування з типовими законами регулювання підвищує, але не завжди із бажаною якістю, ефективність керування технологічними процесами. Тому щоб досягти гарантованої якості регулювання, останнім часом все ширше використовують один з найефективніших видів інтелектуальних регуляторів нового покоління — нейромережні регулятори (НР). Завдяки апроксимувальним та узагальнювальним властивостям нейронних мереж, що застосовуються в системах керування як поряд із типовими лінійними регуляторами, так і окремо — незалежно від них, вдається досягти кращої якості регулювання, ніж при використанні лише типових законів регулювання.

Дослідження присвячене порівняльному аналізу стандартних і нейромережних регуляторів для об'єктів з невизначеними динамічними параметрами. Для реалізації й дослідження нейромережних регуляторів застосовано пакети прикладних програм NEURAL NETWORK TOOLBOX і SIMULINK інтегрованого середовища Matlab 6.1. Якість функціонування алгоритмів регулювання порівнювали за допомогою дисперсії розузгодження

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2, \quad (1)$$

де  $m_x$  — математичне сподівання  $x_i$ ;

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2)$$

Як модель об'єкта дослідження обрано послідовне з'єднання аперіодичної ланки першого порядку і ланки чистого запізнення. Невизначеність змін динамічних параметрів полягає у змінні за нормальним законом розподілу сталої часу і коефіцієнта передачі об'єкта на  $\pm 50\%$  від номінального значення. Номінальні значення динамічних параметрів об'єкта: коефіцієнт передачі —

$$1 \frac{\text{одиниця виміру } x}{\% \text{ ходу регульовального органу}},$$

стала часу — 100 с, час чистого запізнення — 20 с.

Як типовий лінійний регулятор, з яким порівнювали роботу нейромережних регуляторів, обрано ПІ-регулятор. Оскільки не існує прямих методів пошуку оптимальних налаштувань ПІ-регулятора при невизначеності динамічних параметрів об'єкта, то пошук проведено експериментальним шляхом для обраного критерію якості (1). Почергово змінюючи налаштування регулятора — спочатку  $k_p$ , а потім —  $k_i$ , домагаємося того, щоб критерій якості набув мінімального значення:

$$k_p = 12 \frac{\% \text{ ходу регульовального органу}}{\text{одиниця виміру } x},$$

$$k_i = 0,15 \frac{\% \text{ ходу регульовального органу}}{\text{одиниця виміру } x \cdot \text{с}}.$$

Після проведеного моделювання системи з ПІ-регулятором отримано випадковий процес, показаний на рис. 1. Значення критерію якості випадкового процесу — 0,9706 (одиниця виміру  $x$ )<sup>2</sup>.

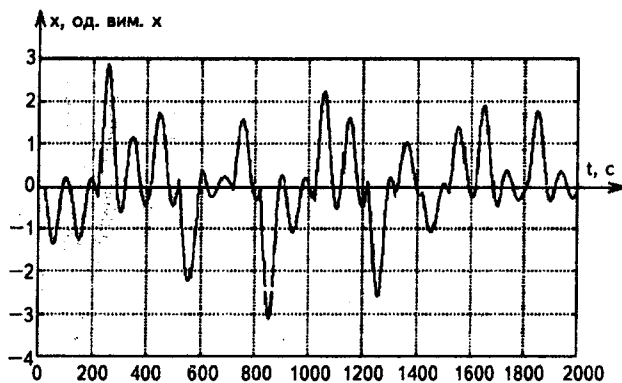


Рис. 1. Випадковий процес в системі автоматичного регулювання з ПІ-регулятором

Першою досліджено найпростішу схему реалізації системи автоматичного регулювання (САР) з НР, яка містить лише об'єкт і регулятор. Структурна схема САР для цього випадку має вигляд, показаний на рис. 2. При проектуванні нейромережного регулятора було визначено ряд проектних параметрів, що вільно задаються. Сюди належать насамперед архітектура мережі, мережна топологія, функціонал якості навчання мережі та використовувані для тренування приклади навчання. Для досліджуваного НР використано багатошаровий перцептрон (БШП), що має один захований шар з 10 нейронами, вихідний шар з одним нейроном і дві вхідні величини. Вхідні величини складаються із дійсного виходу об'єкта і різниці між дійсним виходом об'єкта й бажаним виходом НР. За бажаний вихід НР взято вихід обраного типового лінійного регулятора при роботі з досліджуваним об'єктом. Для кожного нейрона мережі за функцію активації обрано лінійну функцію, яка здійснює перетворення  $y = x$ .

Для початку побудови НР треба обрати тривалість реалізації випадкового процесу, від якого залежить величина вибірки тренувальних даних. Тому тривалість реалізації обирається експериментальним шляхом з тим розрахунком, що при малій кількості тренувальних даних похибка навчання НР буде великою, а якщо кількість їх занадто велика, то НР перенавчиться і теж не зможе виконувати поставлене перед ним завдання. В даному разі обрано тривалість реалізації випадкового процесу 2000 с.

Як функціонал навчання НР задано середньоквадратичну помилку, позначення якої в середовищі Matlab — mse

$$mse = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2, \quad (3)$$

де  $N$  — величина вибірки тренувальних даних;  $\epsilon$  — помилка навчання мережі (різниця між бажаним і реальним сигналами на її виході).

Методи навчання НР ґрунтуються на розрахунку градієнта функціонала помилки за налагоджуваними параметрами.

Після моделювання системи, структурна схема якої наведена на рис. 2, отримано випадковий процес, показаний на рис. 3. Значення критерію якості випадкового процесу — 0,8751 (одиниця виміру  $x$ )<sup>2</sup>.

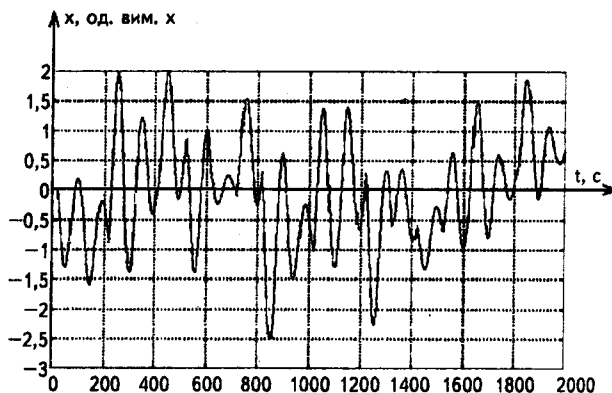


Рис. 3. Випадковий процес в системі автоматичного регулювання з нейромережним регулятором

Другою досліджено складнішу схему реалізації САР з НР, яка, окрім самого регулятора, містить ще нейромережний ідентифікатор (НІ). Структурна схема САР має вигляд, показаний на рис. 4.

Топологія нейронної мережі регулятора для цього випадку залишається такою ж, як і для попереднього, але до першого входу НР підмикається вихід НІ.

Для НІ обрано нейронну мережу з двома вхідними величинами, двома захованими шарами з кількістю нейронів 7 і 4 відповідно та вихідним шаром з одним нейроном. Вхідні величини складаються з дійсного виходу і входу об'єкта, затриманих на декілька кроків. За бажаний вихід НІ взято дійсний вихід об'єкта. Для кожного нейрона мережі НІ як функцію активації обрано ту саму функцію, що і для кожного нейрона мережі НР.

Після моделювання системи, структурна схема якої наведена на рис. 4, отримано випадковий про-

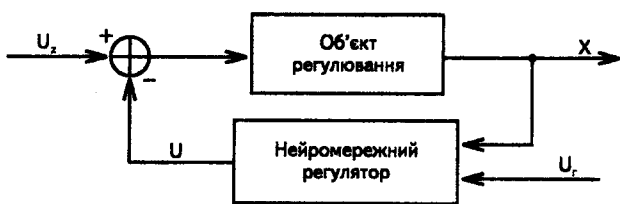


Рис. 2. Структурна схема САР з нейромережним регулятором

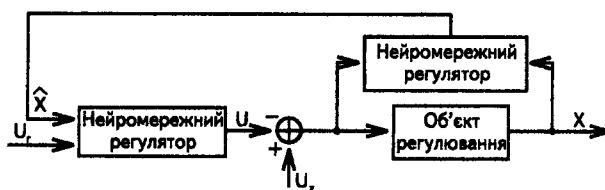
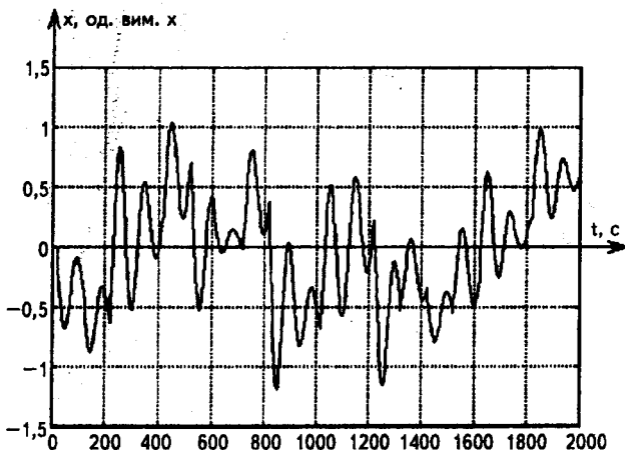


Рис. 4. Структурна схема САР з нейромережним регулятором та ідентифікатором

цес, показаний на *рис. 5*. Значення критерію якості випадкового процесу —  $0,4741$  (одиниця виміру  $x$ )<sup>2</sup>.



*Рис. 5.* Випадковий процес в системі автоматичного регулювання з нейромережним регулятором та ідентифікатором

**Висновок.** Порівняння роботи досліджених САР показало, що:

у разі використання нейромережного регулятора дисперсія розузгодження зменшується приблизно на 10 %;

УДК 664:64-934.043.3

**В.Г. ТРЕГУБ**, доктор технічних наук

*Національний університет харчових технологій*

у разі використання нейромережного регулятора з нейромережним ідентифікатором дисперсія розузгодження зменшується більше ніж удвоє;

при створенні САР в умовах невизначеності динамічних параметрів об'єкта доцільнішим є використання нейромережних регуляторів перед типовими;

використання САР з нейромережним регулятором та ідентифікатором доцільніше, ніж використання одного НР, тому що в цьому разі дві об'єднані між собою нейронні мережі значно поліпшують якість регулювання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика: Пер. с англ. — М.: Мир, 1992 — 435 с.

2. Филаретов Г.Ф., Житков В.А., Кабанов В.А. Применение искусственных нейронных сетей в системах управления // Приборы и системы управления. — 1997. — № 3. — С. 2-6.

3. Кабанов В.А., Хробостов Д.А. Нейроподобные и клеточные структуры в системах управления // Вестник МЭИ. — 1997. — № 2. — С. 38-42.

4. Архангельський В.І., Богаєнко І.М., Грабовський Г.Г., Рюшин М.О. Нейронні мережі в системах автоматизації. — К.: Техніка, 1999. — 320 с.

Одержана редколегією 29.03.04 р.