

УДК 681.142.2

## КОРИГУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ В НЕЛІНІЙНОМУ ОБ'ЄКТІ ДРУГОГО ПОРЯДКУ ПРИ ВПЛИВІ НА ОБ'ЄКТ ФАКТОРІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*М.В. Наконечний*

*Національний університет „Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013,  
тел. 8-067-309-16-60*

*Обґрунтовано доцільність використання додаткового нейронного контролера для корекції динамічних характеристик системи автоматичного управління нелінійним об'єктом при дії на об'єкт факторів зовнішнього середовища.*

*Обоснованно целесообразность использования дополнительного нейронного контролера для коррекции динамических характеристик системы автоматического управления нелинейным объектом при действии на объект факторов внешней среды.*

*Grounded expedience of the use of additional neuron inspector is for the correction of dynamic descriptions of the system of automatic control a nonlinear object at operating on the object of factors of external environment.*

Як відомо, в класичній теорії автоматичного управління синтез контролерів здійснюється на основі методів, які базуються на використанні частотних характеристик розімкненої системи, кореневого годографа, або реалізації процедур, що забезпечують розташування полюсів передаточної функції замкненої системи у відповідних точках комплексної площини.

Частотні методи знаходять широке використання в практиці і більшість систем управління проектується на основі різних модифікацій цих методів, однак із-за нечутливості характеристик замкненої системи до незначних похибок моделі реальної системи, використання таких методів не завжди доцільним і можливим.

Метод кореневого годографа дозволяє розмістити в заданих точках комплексної площини коренів характеристичного рівняння тільки два домінуючі полюси передаточної функції замкненої системи. Оскільки положення всіх інших полюсів є невідомим, то кореневий годограф повинен забезпечити прийнятну динаміку системи на основі отриманих домінуючих полюсів без врахування положення всіх невідомих полюсів, чого в більшості випадків важко досягнути.

Метод синтезу, який базується на забезпеченні розташування всіх полюсів передаточної функції замкненої системи в

заданих точках комплексної площини коренів, передбачає необхідність вимірювання багатьох змінних об'єкта або його математичної моделі. Однак на практиці із-за складності вимірювань, відсутності відповідних вимірювальних перетворювачів, або їх дороговизни не всі змінні можуть бути виміряні і тому використання вказаного методу також має певні обмеження.

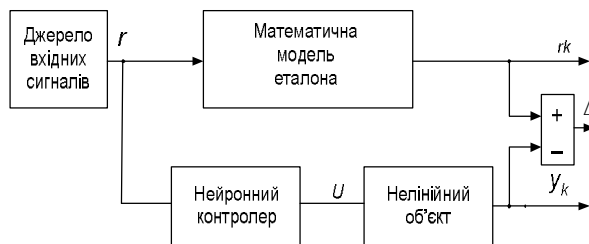
Таким чином, на підставі розгляду можливостей використання частотних характеристик, методу кореневого годографа і методу розташування полюсів передаточної функції замкненої системи в заданих точках комплексної площини коренів можна зробити висновок про те, що в процесі функціонування систем автоматичного управління, виконаних на базі контролерів, синтезованих з використанням вказаних методів, в більшості випадків не забезпечується адекватність між бажаними і реальними значеннями регульованих величин.

Оскільки застосування класичних методів лінійної теорії автоматичного управління не забезпечує повної адекватності динамічних характеристик еталона і синтезованої системи управління, то в останній час для побудови контролерів все частіше використовуються нейронні мережі, перевага яких полягає в можливості досягнення заданої динаміки процесів як в лінійних об'єктах, так і в об'єктах з нелінійними характеристиками.

Для управління процесами в нелінійних об'єктах доцільно використовувати контролери, виконані на базі динамічних нейронних мереж, в яких, виходячи з основних динамічних характеристик об'єкта, реалізується відповідний закон управління.

Основною перевагою нейронної мережі є її здатність до навчання. Оскільки в такому випадку синтез контролера проводиться на основі експериментально одержаних послідовностей, а реальний об'єкт характеризується певними діапазонами допустимих значень вхідних і вихідних сигналів, то коефіцієнти нейронного контролера не можуть набувати випадкових значень. Тому вони повинні бути або наперед обчисленими на основі певних припущень, або отриманими шляхом попереднього навчання з використанням математичної моделі об'єкта.

Розглянемо особливості синтезу нейронного контролера для управління процесом в нелінійному об'єкті з використанням математичної моделі еталона (рис. 1).



**Рисунок 1 – Структурна схема системи автоматичного управління з використанням моделі еталона**

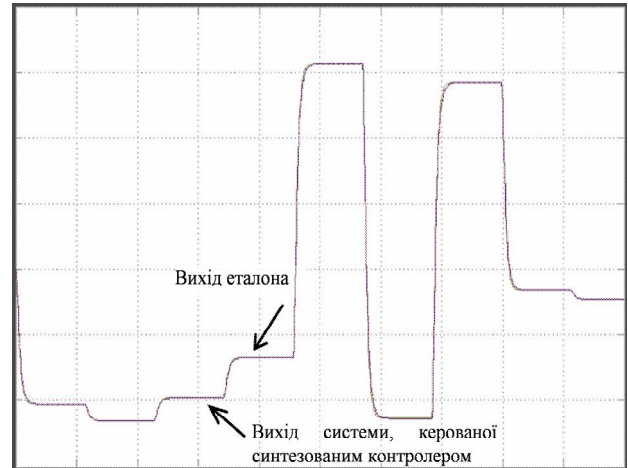
Представимо модель нелінійного об'єкта диференціальним рівнянням виду

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \frac{dy}{dt} + 10 \sin y = U. \quad (1)$$

Для здійснення навчальної процедури введемо еталон, до якого необхідно наблизити систему (об'єкт з контролером), тобто підібрати коефіцієнти нейронного контролера так, щоб при одночасній подачі на входи системи та еталона будь-якого сигналу, значення їх вихідних величин були максимально наближеними. Виходячи з вимог забезпечення заданої швидкодії системи, рівняння еталона задамо у вигляді:

$$\frac{d^2 y_r}{dt^2} + 6 \frac{dy_r}{dt} + 9 y_r = 9 r. \quad (2)$$

Сигнали на виходах еталона і системи, керованої синтезованим в процесі навчання нейронним контролером, при одночасній подачі на їх входи сигналу  $r_k$  наведені на рис. 2.



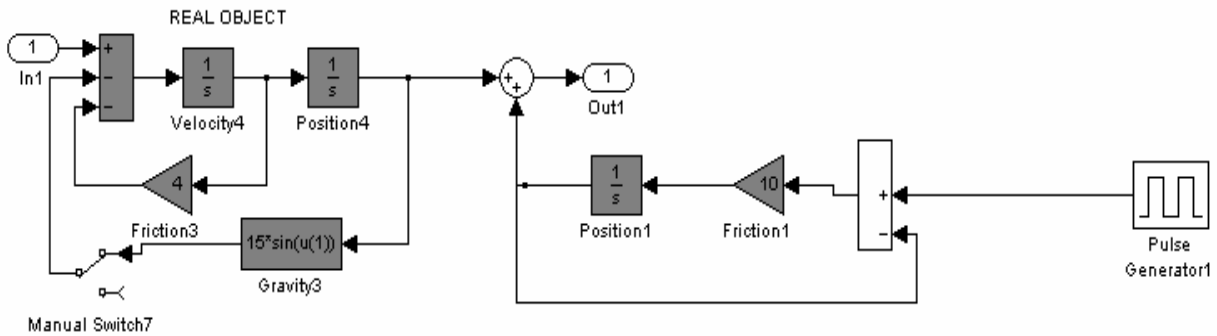
**Рисунок 2 – Сигнали на виходах еталона і системи, керованої синтезованим нейронним контролером**

Як відомо, процеси, які протікають в реальних об'єктах, супроводжуються впливом факторів зовнішнього середовища, дія яких безпосередньо або через зміну параметрів об'єкта викликає суттєве відхилення регульованої величини від заданого значення.

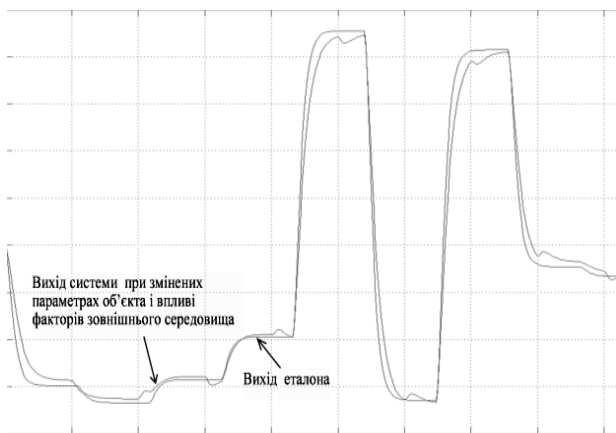
Для дослідження впливу факторів зовнішнього середовища на роботу системи автоматичного управління, в якій використовувався синтезований нейронний контролер, були змінені числові значення коефіцієнтів математичної моделі об'єкта і до її виходу підводився зовнішній збурюючий сигнал.

На рис. 3 наведена схема моделі об'єкта із зміненими значеннями коефіцієнтів при одночасній подачі на її вхід збурюючого сигналу, а на рис. 4 зображені сигнали на виходах еталона і системи автоматичного управління, виконаної на базі нейронного контролера і моделі об'єкта з зміненими параметрами при впливі на об'єкт факторів зовнішнього середовища.

Як випливає з рис. 4, вихідний сигнал системи, керованої нейронним контролером, суттєво відрізняється від вихідного сигналу еталона, що вказує на неспроможність синтезованого контролера забезпечувати ефективне управління процесом в об'єкті зі зміненими параметрами при одночасній дії на нього зовнішніх збурюючих факторів.



**Рисунок 3 – Модель об’єкта з зміненими параметрами, при одночасному підведенні до його виходу збурюючого сигналу**



**Рисунок 4 – Сигнали на виходах еталона і системи автоматичного управління, виконаної на базі синтезованого нейронного контролера при змінених параметрах моделі об’єкта і впливі факторів зовнішнього середовища**

Один із шляхів покращення динамічних характеристик системи полягає в доповненні її структури додатковим нейронним контролером, основне призначення якого полягає у забезпеченні компенсації дії збурюючих факторів на об’єкт і зміни його параметрів, викликаних зміною характеристик зовнішнього середовища.

В загальному вигляді схема введення додаткового нейронного контролера в структуру системи автоматичного управління з врахуванням дії збурень на об’єкт наведена на рис. 5.

В даній схемі використовуються два ідентичні нейронні контролери, перший з яких підключений до входу моделі нелінійного об’єкта, а другий – до входу нейронного емулятора.



**Рисунок 5 – Схема введення додаткового нейронного контролера в систему автоматичного управління**

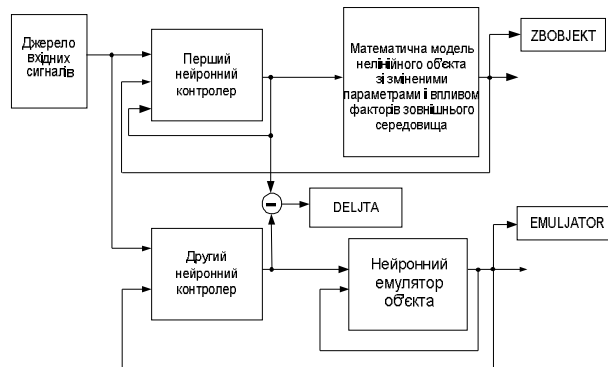
Використання нейронного емулятора обумовлено тим, що в більшості випадків основна інформація про об’єкт міститься у сигналах, які подаються на вхід об’єкта і знімаються з його виходу, що є недостатньо для побудови точної математичної моделі реального об’єкта. Проте, використовуючи вказані сигнали (вхідні і вихідні сигнали об’єкта), можна з успіхом синтезувати емулятор у вигляді динамічної нейронної мережі, процеси в якому будуть практично співпадати з процесами, що протікають в реальному об’єкті.

Компенсація впливу факторів зовнішнього середовища і змін параметрів об’єкта здійснюється за допомогою додаткового нейронного ПІД-контролера з розділеними входами, один вхід якого підключено до виходу об’єкта, а другий – до виходу нейронного емулятора. В даній системі вихідний сигнал

емулятора виконує функції задаючого впливу. Основна задача додаткового нейронного контролера полягає у формуванні на його виході таких сигналів, при подачі яких на один із входів схеми віднімання разом з вихідним сигналом першого нейронного контролера забезпечується можливість отримання на виході нелінійного збуреного об'єкта сигналів, миттєві значення яких будуть максимально наближеними до вихідних сигналів емулятора, що в кінцевому результаті і забезпечить компенсацію впливів зовнішнього середовища і зміни параметрів об'єкта.

Схема для одержання навчальних послідовностей, які використовуються в процесі навчання додаткового нейронного контролера, наведена на рис.6.

В даній схемі використовуються два ідентичні нейронні контролери, синтез яких проводився з використанням математичної моделі об'єкта, яка описується нелінійним диференціальним рівнянням виду (1).



**Рисунок 6 – Схема генерування числових послідовностей для навчання додаткового контролера**

Для одержання навчальних послідовностей до відповідних точок математичної моделі об'єкта підключені джерела збурюючих сигналів і змінні числові значення коефіцієнтів при вихідній змінній і її першій похідній (рис. 3), в результаті чого диференціальне рівняння об'єкта набуло вигляду:

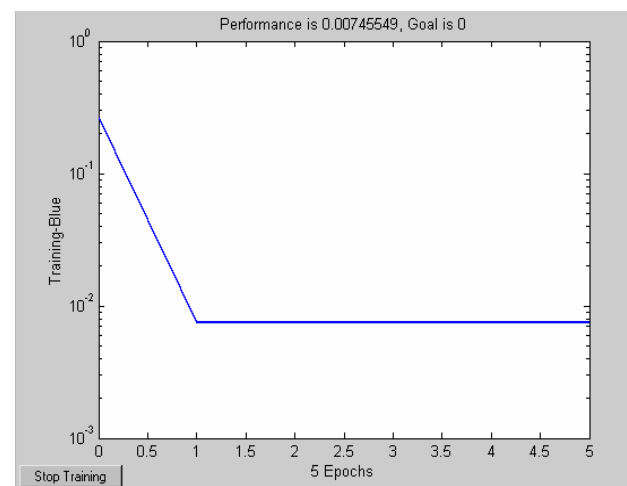
$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 4 \frac{dy}{dt} + 15 \sin y = U. \quad (3)$$

Навчання додаткового нейронного контролера здійснюється з використанням наступних числових послідовностей: ZBOBJEKT – числової послідовності з виходу математичної моделі об'єкта із зміненими

коефіцієнтами при дії збурюючих сигналів; EMULATOR – числової послідовності з виходу нейронного емулятора об'єкта; DELTA – числової послідовності, яка визначається різницею вихідних сигналів першого і другого нейронних контролерів для випадку змінених коефіцієнтів математичної моделі об'єкта і дії на неї збурюючих факторів.

Динаміку процесу навчання додаткового нейронного контролера зображено на рис.7.

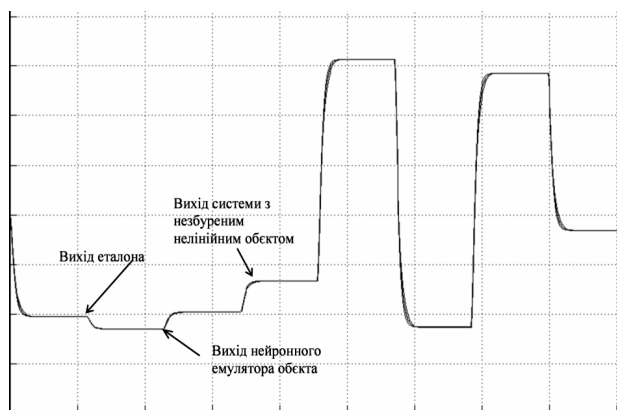
Спочатку розглянемо роботу системи автоматичного управління з використанням синтезованого додаткового нейронного контролера для випадку незбуреного об'єкта. При цьому будемо вважати, що об'єкт описується диференціальним рівнянням (1) і на нього не впливають фактори зовнішнього середовища, а включення головного і додаткового нейронних контролерів в структурну схему системи реалізовано у відповідності до схеми, яка наведена на рис. 5.



**Рисунок 7 – Динаміка навчання додаткового нейронного контролера з використанням двох нейронних контролерів**

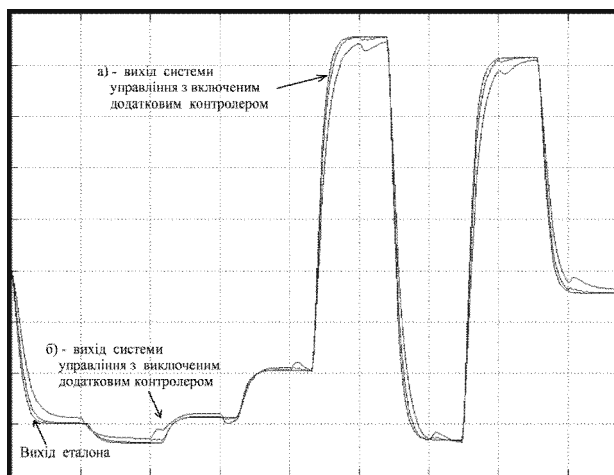
На рис. 8 наведені графіки вихідних сигналів математичної моделі еталона, незбуреного нелінійного об'єкта, керованого першим нейронним контролером при включеному додатковому нейронному контролері і нейронного емулятора, керованого другим нейронним контролером.

Як впливає з рис. 8, криві процесів, що протікають в математичній моделі еталона, моделі незбуреного нелінійного об'єкта, який керується першим нейронним контролером, і емуляторі, керованому другим нейронним контролером практично однакові, що вказує на ідентичність процесів в моделях еталона, нелінійного об'єкта і емулятора.



**Рисунок 8 – Вихідні сигнали еталона, незбуреного нелінійного об'єкта, керованого першим нейронним контролером при включеному додатковому нейронному контролері і нейронного емулятора, керованого другим нейронним контролером**

Ілюстрація змін параметрів об'єкта і введення дії збурюючих факторів на нього представлена на рис. 3, а сигнали на виходах математичної моделі еталона і моделі збуреного об'єкта, керованого першим нейронним контролером без включення додаткового нейронного контролера і при його наявності наведені на рис. 9.



*а) – при включеному і б) – виключеному додатковому нейронному контролері*

**Рисунок 9 – Вихідні сигнали математичної моделі еталона і моделі збуреного об'єкта, керованого нейронним контролером**

## ВИСНОВОК

Аналіз отриманих кривих показує, що використання додаткового контура, виконаного на основі емулятора об'єкта і одного з нейронних контролерів з одночасним підключенням першого входу додаткового контролера до виходу нелінійного об'єкта із зміненими параметрами при дії на нього факторів зовнішнього середовища, а другого – до виходу емулятора об'єкта приводить до суттєвого наближення вихідного сигналу системи автоматичного управління процесом в нелінійному збуреному об'єкті до вихідного сигналу еталона.

## Література

1. Медведев В.С., Потёмкин В.Г. *Нейронные сети. MATLAB 6.* – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
2. Дьяконов В.М., Круглов В.В. *Математические пакеты расширения MATLAB/ Специальный справочник.* – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
3. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдейл К. *Оптимизация в технике. В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с английского* – М.: Мир, 1986. – 350с.
4. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. *Нейронные сети и их применение в системах управления и связи.* – Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.
5. Дэбни Дж. *Simulink 4. Секреты мастерства / Дж. Б. Дэбни, Т.Л. Хартман; Пер. с англ. М.Л. Симонова.* – М.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2003. – 403 с.
6. Уоссерман Ф. *Нейрокомпьютерная техника.* – М.: Мир, 1992. – 327 с.
7. Беркинблит М.Б. *Нейронные сети.* – М.: МИРОС, 1993. – 425 с.
8. Каллан Р. *Основные концепции нейронных сетей.* – М., СПб., К.: Издательский дом "Вильямс". – 2001. – 403 с.

Поступила в редакцію 10.04.2009 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Яцук В.О.