

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

*І. В. Григоренко, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", м. Харків*



*Проаналізовано можливість підвищення метрологічної надійності пристрою для контролю лазерної системи вимірювання геометричних розмірів та якості поверхні деталей завдяки використанню нейронної мережі. Доведено здатність урахування внутрішніх та зовнішніх факторів, що впливають на ре-*

*зультат вимірювань, за допомогою комп'ютерної моделі нейронної мережі для системи тестового контролю.*

*The paper analyzes the possibility of increasing the metrological reliability of the control device for the laser measurement system of geometric dimensions and surface quality of parts by the use of neural network. The capability of accounting the internal and external factors that affect the measurement result by using the computer neural network model for the test control system is proved.*

### Вступ

Наразі завдання отримання високоточних результатів при використанні на виробництві лазерних систем є одним із основних завдань, що стоять перед проектувальниками та виробниками підприємств. Тестовий контроль дозволить підвищити точність вимірювань, отриманих за допомогою лазерних систем, та зменшити похибки вимірювань шляхом перетворення спеціальних тестів, функціонально пов'язаних із вимірюваною величиною, і подальшої обробки результатів перетворень за заданим алгоритмом. Реалізувати контроль роботи з урахуванням факторів, що впливають на результат вимірювань, та здійснити прогнозування поведінки системи у майбутньому можливо завдяки штучній нейронній мережі (ШНМ), яка є зручним базисом для подання інформаційних мо-

делей. Нейронна мережа досить формально може бути визначена як сукупність простих процесорних елементів (які часто називаються нейронами), що повністю володіють локальним функціонуванням та об'єднані односпрямованими зв'язками. Мережа приймає деякий вхідний сигнал і пропускає його крізь себе з перетворенням у кожному процесорному елементі. Таким чином, у процесі проходження сигналу по зв'язках мережі відбувається його обробка, результатом якої є певний вихідний сигнал. У збільшеному вигляді ШНМ виконує функціональну відповідність між входом і виходом та може служити інформаційною моделлю системи. Тому доцільно побудувати таку структуру ШНМ, котра якнайточніше буде описувати роботу системи контролю з урахуванням впливу внутрішніх та зовнішніх факторів на точність та достовірність результатів, отриманих за її допомогою.

### Аналіз літературних джерел інформації та постановка проблеми

У роботі [1] розглянуто основні методи та загальні підходи до вирішення завдань проектування лазерних систем, показано фактори, що впливають на розповсюдження хвиль оптичного діапазону в навколишньому середовищі, а також вплив вибору довжини хвилі випромінювання на характеристики сигналів, що приймаються, але не вказано заходи, що дозволяють повною мірою врахувати їх вплив. Основні види оптичних завод природного та штучного походження розглянуто в роботі [2]. Описано способи організації штучних завод, а також механізм впливу завод на оптико-електричні прилади. Залишається визначити математичний апарат, здатний обробити та врахувати їх вплив на корисний сигнал.

Метою роботи є підвищення точності лазерної системи вимірювання геометричних розмірів та якості поверхні деталей [3] шляхом побудови ШНМ, що описує її поведінку і має властивості прогнозування та подальшої обробки отриманих за

її допомогою результатів. Саме той факт, що технології ШНМ дозволяють знаходити складні зв'язки між взаємопов'язаними технологічними параметрами та застосовувати їх для обробки первинної інформації [4], дає підставу для використання їх у системах лазерного контролю.

### Основний текст

У лазерних системах контролю основним інформаційним параметром є світловий потік. Оскільки інтенсивність світлового потоку можна перетворити на електричний сигнал, то відповідно є можливість порівняти два сигнали: один від об'єкта вимірювання, другий – від еталонної поверхні [3].

У роботі [5] розглянуто можливість побудови тестових впливів для діагностичного приладу лазерних систем. На рис. 1 наведено структурну схему такої системи контролю.

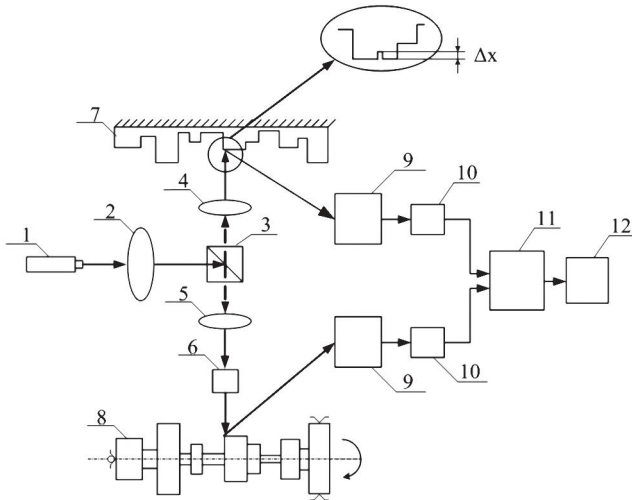


Рис. 1. Структурна схема системи лазерного контролю

Пристрій працює таким чином: світловий потік від лазерного каналу 1, проходячи через фокусуючу двоопуклу лінзу 2, потрапляє на світлоподільну призму 3, яка ділить один світловий потік на два різних за інтенсивністю світлопотока. Обидва потоки фокусуються за допомогою окремих фокусуючих систем 4, 5. Для вирівнювання інтенсивностей на шляху робочого світлового потоку встановлено оптичний атенуатор 6. Світлові потоки потрапляють відповідно на еталонну за геометричними розмірами поверхню 7 і об'єкт вимірювання 8. На еталонну поверхню нанесено ділянку зразкового перепаду розміром  $\Delta X$ . З об'єктів 7 і 8 зчитується інформація щодо якості їхньої поверхні за допомогою відбиття світлових потоків від поверхонь цих об'єктів. Відбиваючись від об'єктів 7 і 8, світловий потік потрапляє на фотоприймачі 9, які перетворюють інтенсивність світлового потоку в електричний сигнал. З виходів фотоприймачів 9 обидва електричні сигнали (напряга) підсилюються, надходячи до підсилювачів 10. Для порівняння електричних сигналів використовуємо компаратор 11. Дані передаються на блок обробки даних 12.

Кожний із компонентів системи має свої властивості й характер поведінки залежно від власного стану та зовнішніх умов. Якщо всі можливі прояви системи зводяться до суми проявів її компонентів, то така система є простою, незважаючи на те, що число її компонентів може бути великим. Для опису простих систем традиційно використовують методи аналізу, що полягають у послідовному розчленуванні системи на окремі компоненти й побудові моделі із простіших елементів. Ці операції виконуються за допомогою методів математичного моделювання. Комп'ютерну модель системи лазерного контролю виконано в середовищі *MatLab* (рис. 2).

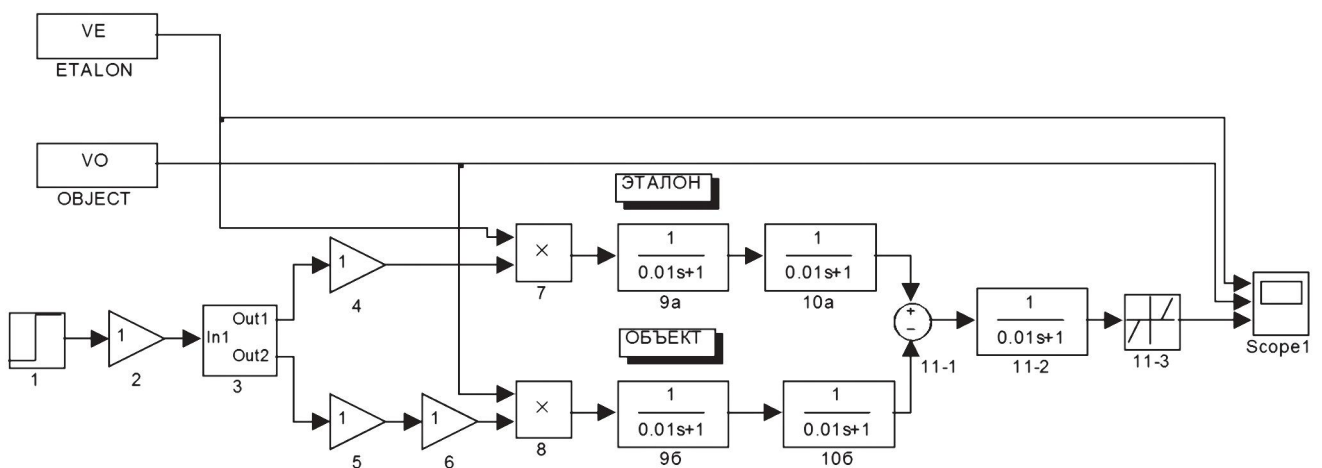


Рис. 2. Комп'ютерна модель системи лазерного контролю

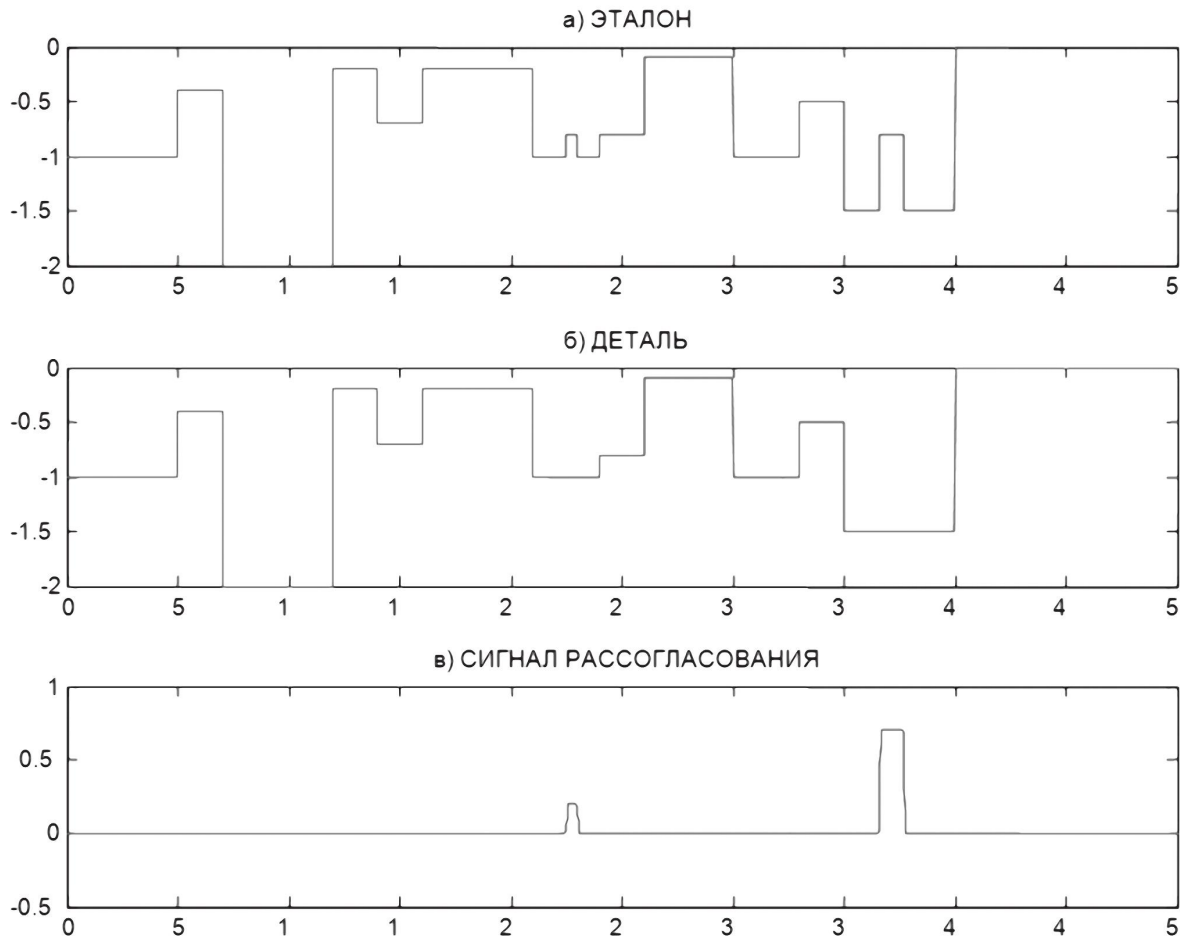


Рис. 3. Діаграми роботи системи за наявності тестових впливів

Діаграми, отримані за допомогою цієї моделі за наявності тестових впливів, показано на рис. 3.

Використання такої комп'ютерної моделі дає можливість оцінити динамічну похибку вимірювання.

У загальному випадку спектральна щільність динамічної похибки відтворення деякого вхідного сигналу зі спектром  $X(j\omega)$  на виході лінійної системи з частотною характеристикою  $G_s(j\omega)$  визначається як [5]

$$\Delta_{\text{дин вих}}(j\omega) = [G_s(j\omega) - 1] \cdot X(j\omega).$$

Ця ж похибка, приведена до входу, буде мати вигляд

$$\Delta_{\text{дин вх}}(j\omega) = \left[ \frac{G_s(j\omega)}{K_C} - 1 \right] \cdot X(j\omega),$$

де  $K_C$  – статичний загальний коефіцієнт перетворення системи (при  $\omega = 0$ ).

Якщо неузгодженість на вході (вимірювальна величина) являє собою стаціонарний центрований

випадковий процес зі спектральною щільністю  $S(\omega)$ , то математичне очікування динамічної похибки дорівнює нулю, а її дисперсія

$$D[\Delta_{\text{дин}}] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_C} - 1 \right|^2 \cdot S(\omega) d\omega.$$

Якщо вхідна неузгодженість є миттєвим значенням гармонічного сигналу  $A_m \cdot e^{j\omega t}$ , то динамічна похибка вимірювання цього значення

$$\Delta_{\text{дин}}(t) = \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_C} - 1 \right| \cdot A_m \cdot e^{j\omega t},$$

її математичне очікування дорівнює нулю, а дисперсія

$$D[\Delta_{\text{дин}}] = \left( \frac{A_m^2}{2} \right) \cdot \left| \frac{G_s(j\omega)}{K_C} - 1 \right|^2.$$

Система лазерного тестового контролю, що розглядається, відноситься до складних систем. Модель складної системи, що ґрунтується на принци-

пах аналізу, буде неадекватною досліджуваній системі, оскільки при розбивці системи на компоненти губляться її якісні особливості. Можливим виходом із положення є побудова системи на основі синтезу компонентів.

Фактори, які впливають на роботу лазерної системи тестового контролю, умовно можна розділити на зовнішні й внутрішні фактори. Зміна в часі величин усіх факторів може бути основою для формування вихідних масивів даних.

Значний вплив на точність лазерних систем має температурний режим роботи. Навіть незначний перепад температури елементів системи може призвести до появи термооптичної аберації, розфокусування оптичної системи, термомодеформації оптичних деталей, до погіршення чутливості й відношення сигнал/шум внаслідок збільшення фонового потоку випромінювання, що надходить до приймача випромінювання, та інших помилок.

Для забезпечення потрібної якості показань лазерної системи контролю необхідно провести розрахунок та аналіз теплових режимів роботи.

Таким чином, виникає необхідність введення температурної корекції, оскільки, наприклад, при обробці металів різанням має місце висока температура у зоні різання.

У самій системі, за відомих значень перепадів температур  $\Delta t$  окремих вузлів і елементів відносно номінальних температур, є можливість розрахунку відповідних змін оптичних параметрів: радіусів кривизни оптичних поверхонь  $r_i$ , показників заломлення деталей  $n_i$ , товщини повітряних проміжків  $d_i$  – за формулами

$$r_i = r_{20}(1 + \alpha_i \Delta t); \quad n_i = n_{20}(1 + \beta_i \Delta t); \quad d_i = d_{20}(1 + \beta_i \Delta t),$$

де  $r_{20}$ ,  $d_{20}$ ,  $n_{20}$  – відповідно радіус кривизни, товщина і показник заломлення за нормальної температури  $t = 20^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_i$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу  $i$ -х оптичних або механічних деталей;  $\beta_i$  – температурний коефіцієнт показника заломлення скла  $i$ -х деталей [6].

Оскільки при великому наборі впливних факторів невідомий точний вид зв'язків між входами й виходами лазерної системи, виникає необхідність використання нейронної мережі, що дасть можливість визначити шукану залежність між входом і виходом у процесі навчання мережі. Користувач повинен підготувати набір навчальних даних. Ці дані являють собою приклади входних даних і відповідних їм виходів. Мережа вчиться встановлювати зв'язок між першими й другими. Якщо мережу навчено добре, вона набуває здатності моделювати (невідому) функцію, що зв'язує значення входних і вихідних змінних, і згодом така мережа може використовуватися для прогнозування в ситуації, коли вихідні значення невідомі.

Усяка нейронна мережа приймає на вході числові значення і на виході видає також числові значення. Передатна функція для кожного елемента мережі звичайно вибирається таким чином, щоб її вхідний аргумент міг приймати довільні значення, а вихідні значення лежали б у строго обмеженому діапазоні [7, 8].

На рис. 4 наведено структурну схему взаємодії нейронної мережі для контролю лазерної системи з “Вчителем”, що являє собою мікропроцесорний блок, здатний управляти ШНМ по засобах зміни вагових коефіцієнтів  $\Delta W_i$  багатошарового перцептрона (MLP) [9, 10].

На вхід ШНМ надходять відомі векторні вхідні сигнали  $\bar{X}$ . Такі ж сигнали надходять на вхід мікропроцесорного блока “Вчителем”, що формує зразковий вихідний сигнал  $\bar{Y}_{zp}$ . Цей сигнал порівнюється з вихідним сигналом ШНМ і за наявності неузгодженості  $\Delta$  “Вчитель” дає команди на зміну значень вагових коефіцієнтів багатошарового перцептрона у відповідності до обраного алгоритму.

У результаті шляхом виявлення взаємного впливу вагових коефіцієнтів на значення вихідного сигналу досягають мінімальної розбіжності  $\Delta$ .

Розглянемо, які функції здатний моделювати багатошаровий перцептрон (MLP) відповідно до завдання контролю параметрів лазерної системи.

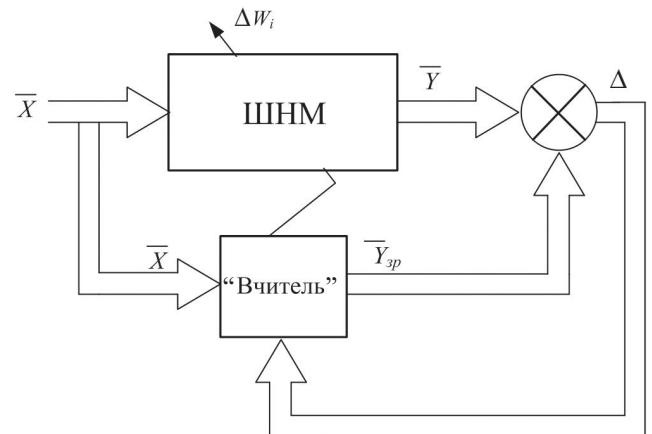


Рис. 4. Структурна схема взаємодії нейронної мережі для контролю лазерної системи з “Вчителем”

Навчання багатошарового перцептрона за допомогою методу найшвидшого спуску виконаємо за допомогою комп'ютерної програми *MatLab* (рис. 5). Із входу (зовнішній шар  $p$ ) надходить деякий сигнал, який користувач не може контролювати. Цей сигнал надходить на перший внутрішній шар, що складається із двох одновходових нейронів із сигмоїдальними функціями активації. Тут  $W1$  – матриця (точніше вектор-стовпець із двох елементів) вагових коефіцієнтів 1-го шару, а  $b1(1)$  і  $b1(2)$  – зсув для кожного із двох нейронів цього шару.

Другий шар поданий одним двовходовим нейроном із сигмоїдальною функцією активації. Вагові коефіцієнти об'єднані в матрицю  $W2$  (вектор-рядок із двома елементами), зсув  $b2$ .

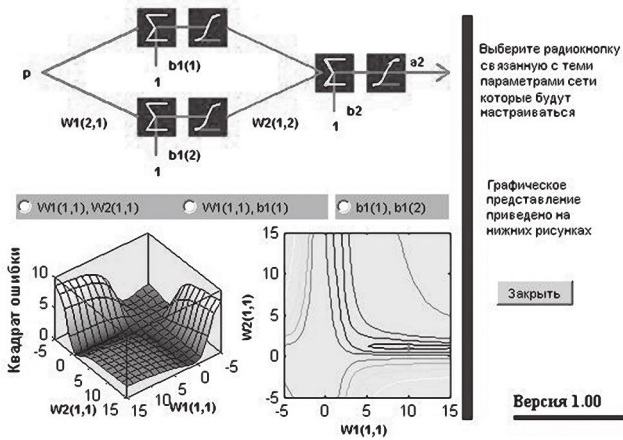


Рис. 5. Діалогове вікно комп'ютерної програми *MatLab*. Навчання багатошарового перцептрона

Цей приклад (рис. 5) демонструє процедуру навчання вагових коефіцієнтів і зсувів. Навчання виконується шляхом зворотного поширення помилки методом найшвидшого спуска. У нижній частині рисунка наведено тривимірний і плоский графіки, на яких відображується процес навчання.

Вибираємо цікаві для нас пари коефіцієнтів:

- вагові коефіцієнти  $W1(1,1)$  і  $W2(1,1)$  – верхні дуги перцептрона (зв'язок 1-го нейрона 1-го шару й нейрона 2-го шару);
- ваговий коефіцієнт  $W1(1,1)$  і зсув  $b1(1)$  1-го нейрона 1-го шару;
- зсув  $b1(1)$  і  $b1(2)$  обох нейронів 1-го шару.

Графічна частина відобразить 3-мірний простір вагових коефіцієнтів, по вертикалі буде відображатися значення помилки перцептрона.

Плоский графік (контурний) демонструє те ж саме, але на площині.

У завданнях класифікації дуже важливо зрозуміти, як варто інтерпретувати ті крапки, які потрапили на схил або лежать близько від нього. Стандартний вихід тут полягає в тому, щоб для граничних значень установити деякі довірчі межі (прийняття або відкидання), які повинні бути досягнуті, щоб цей елемент уважався “прийнявшим рішення” [7].

### Висновок

Шляхом комп'ютерного моделювання проведено аналіз, що довів можливість використання нейронної мережі для підвищення метрологічної надійності лазерної системи вимірювання геометричних розмірів та якості поверхні деталей.

Отримані результати не суперечать загальній теорії побудови нейронних мереж, що дає підстави для подальшого розвитку цього напрямку досліджень.

### Список літератури

1. Мишура Т. П. Проектирование лазерных систем: учеб. пособие / Т. П. Мишура, О. Ю. Платонов. – СПб: ГУАП, 2006. – 98 с.
2. Якушенков Ю. Г. Методы борьбы в оптико-электронных приборах / Ю. Г. Якушенков, Н. В. Луканцев, М. П. Колосов. – М.: Радио и связь, 1981. – 180 с.
3. Пат. 85637 У Україна, МПК G01B 11/30(2006.01). Пристрій для контролю лазерної системи виміру геометричних розмірів та якості поверхні виробів / І. В. Григоренко, С. І. Кондрашов, О. П. Давиденко, А. С. Белєвцова. – № u2013 06975; заявл. 03.06.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22. – 2 с.
4. Клепач М. М. Використання штучних нейронних мереж для визначення октанового числа автомобільного бензину / М. М. Клепач // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 2(33) – С. 32–38.
5. Григоренко І. В. Побудова тестових впливів для діагностичного приладу лазерних систем / І. В. Григоренко, А. С. Белєвцова // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2014. – № 15(1058). – С. 31–35.
6. Григоренко І. В. Дослідження динамічних та температурних похибок лазерної системи при тестовому контролі / І. В. Григоренко, А. С. Белєвцова, О. В. Харченко // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2015. – № 29(1138). – С. 3–7.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. – 2-е изд. – М.: Издат. дом “Вильямс”, 2006. – 104 с.
8. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004. – 369 с.
9. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
10. Ren X. A modified neural network for dynamical system identification and control / X. Ren, J. Chen // Proc. of 14 IFAC, 5-9 July, 1999. – Beijing, China, 1999. – P. 463–468.