
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.816:519.863

І. С. Скітер, к.ф.-м.н., доцент,
О. В. Трунова, к.пед.н. доцент,
М. В. Двоєглазова, к.т.н.

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ДЛЯ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ
СИСТЕМ**

У статті розглянута імітаційна модель об'єднання двох інформаційних систем за допомогою побудови нейронної мережі. Визначені основні параметри досягнення системами ефективного стану функціонування.

Ключові слова: *нейромережа, структура, навчання мережі, ефективний стан.*

И. С. Скитер, к.ф.-м.н., доцент,
Е. В. Трунова, к.пед.н. доцент,
М. В. Двоєглазова, к.т.н.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ
СИСТЕМ**

В статье рассмотрена имитационная модель объединения двух информационных систем с помощью построения нейронных сетей. Определены основные параметры достижения системами эффективного состояния функционирования.

Ключевые слова: *нейросеть, структура, обучение сети, эффективное состояние.*

I. S. Skiter, candidate of physics and mathematics, associate professor,
O. V. Trunova, candidate of pedagogical sciences, associate professor,
M. V. Dvoiehlazova, candidate of technical sciences

**APPLICATION OF NEURAL NETWORK MODELING TECHNOLOGIES
TO EVALUATE INFORMATION SYSTEMS INTEGRATION EFFECTIVENESS**

This article describes the simulation model combining two information systems by constructing neural networks. The main parameters of the system to achieve the effective operation state are determined.

Keywords: *neural network, structure, network training, effective state.*

Актуальність теми дослідження. Динамічні параметри систем, що взаємодіють, можуть бути описані за допомогою аналізу їх просторових та часових характеристик. Математичний апарат дослідження складних систем, які характеризуються великою кількістю вхідних та вихідних параметрів, оснований на багаторазовому розв'язанні задач лінійного програмування. При цьому отримують, як правило, результати оптимального розподілу ресурсів системи. Задача визначення ефективності досягнення оптимальних параметрів системи та «швидкості» його досягнення не розглядається. Крім того, розв'язок такого роду задач супроводжується значними затратами машинного ресурсу та має незначний рівень точності.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Постановка проблеми. Об'єктом дослідження і прийняття рішень була обрана складна ієрархічна система та її взаємодія з зовнішнім середовищем. Деталізація об'єкту дослідження може бути представлена наступним чином: необхідно розглянути складну інтегровану систему (СІС), яка структурно складається з двох підсистем, кожна з яких має окремий набір входів/виходів. Предмет дослідження – визначення системних характеристик окремих систем та об'єднаної системи за параметрами їх ефективності.

Опис СІС з метою прийняття ефективних рішень бажано проводити за допомогою інформативної складової: як її структури, так і зв'язків між елементами цієї структури. Виділивши в системі основні потоки інформації та зв'язки, можна задати її як деяку впорядковану послідовність (вектор, кортеж) факторів:

$$S = \langle t, X, V, Y, W, H, G, F, Z \rangle. \quad (1)$$

Умовно їх можна розділити на три класи:

- вхідні фактори:

$t = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n\}$ – вісь часу;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ – множина векторів вхідної інформації;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n\}$ – множина векторів вхідних дій;

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n\}$ – множина векторів результатів;

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n\}$ – множина векторів вихідних дій.

- функціональні фактори (визначають процес перетворення вхідної інформації X у вихідну Y на осі часу t):

G – алгоритм, функція виходу;

H – функція поведінки системи при використанні ресурсів системи (внутрішніх станів), функція переходів;

$F = \{f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n\}$ – загальна функція управління чи множина функцій управління, яка змінює як G так і H .

- внутрішні фактори: $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n\}$ – множина векторів внутрішніх станів (ресурсів) системи (1.2.), який задає систему як впорядковану множину всіх дій на неї, всіх внутрішніх і зовнішніх чинників.

Оскільки будь-яка відкрита система існує при взаємодії з зовнішнім середовищем, то при дослідженні систем з метою оптимального управління ними проводиться аналіз функцій, притаманних цим системам. З метою усунення вказаних вище недоліків традиційних методів визначення параметрів функціонування та інтеграції складних систем запропонована методика оцінки рівня ефективності на основі побудови нейронних мереж взаємодії систем. Крім того, як база такого аналізу може виступати методика, побудована на основі розподілу критичних точок взаємодії, побудови графу взаємодії систем та визначення параметрів стійкості об'єднаної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні в ряді робіт йдеться про теорію ефективності [1]. В деяких джерелах зазначено, що ця теорія ще не є самостійною наукою [2]. В інших висловлюється точка зору, про те, що відповідна теорія цілком сформульована: «об'єктом вивчення теорії ефективності є цілеспрямовані дії – операції, а предметом – закономірності, пов'язуючи ефективність операції з якістю системи..., умовами й способами її використання в операції» [3]. Теорію ефективності називають також «інструментом дослідження операцій» [4]. Математичні моделі складних інформаційних систем (СІС) структурного чи ієрархічного типу з точки зору логіко-математичного моделювання можна віднести до багатокомпонентних нелінійних динамічних систем розподіленого типу [1,2].

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Як правило, моделювання динаміки нелінійних систем здійснюється на основі використання:

- багатомірних диференціальних рівнянь [3,4];
- математичного апарату кліткових автоматів [5];
- теорії катастроф [6];
- теорії самоорганізованої критичності (ентропії);
- стохастичних рівнянь Ланжевена;
- аналізу систем з хаосом та відновленням стійких станів (атракторів).

Вказані методи реалізуються на основі часових рядів даних.

В роботі [7] отримані основні чисельні характеристики оцінки параметрів СІС та методи визначення стохастичної складової для стаціонарного стану. Подальшим розвитком досліджень у напрямі імітаційного моделювання взаємодії складних інформаційних систем є створення нейромережі, яка б давала змогу проводити оцінку параметрів СІС при різних її конфігураціях та структурах кортежу (1).

Постановка завдання. Основна мета нейромережевого моделювання - це відтворення дії, що управляє ефективністю процесу об'єднання ІС.

Виклад основного матеріалу. На основі співвідношень розглянутих в [7] визначено, що управління об'єднанням систем у вигляді оптимального співвідношення їх входів і виходів визначається чотирма групами параметрів:

- X – вектори входів систем;
- Y – вектори виходів систем;
- Z – вектори управління;
- R – оператори управління;
- λ, γ – допоміжні параметри зв'язків.

Інструментом моделювання в нашій роботі виступає нейронна мережа, параметри якої приведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Параметри нейронної мережі

Період	ІС підприємства					Оператор системи R_1	ІС проекту						Оператор системи R_2
	Входи, X			Виходи, Y			Входи, X			Виходи, Y			
	X_1	X_2	X_3	Y_4	Y_5		X_4	X_5	X_6	Y_1	Y_2	Y_3	
1	100	2	0,2	0,1	550	0,5	0,3	1	5	0,1	0,2	78	0,46
2	300	3	0,4	0,2	1030		0,4	1	8	0,3	0,5	100	
3	600	4	0,5	0,5	1800		0,6	2	12	0,5	0,6	150	
4	800	5	0,7	0,8	2456		0,8	3	15	0,7	0,9	200	
5	100	2	0,2	1	3020		1	3	16	1	1	250	

Вказані параметри виступають як вхідні змінні до моделі управління об'єднанням ІС і представляють собою елементи вхідного шару нейронної мережі, яка пропонується до практичної реалізації.

Нейронна мережа (НМ), створена на основі табл.1, включає в себе дві модифікації: «НМІС1» та «НМІС2» побудовані окремо для ІС підприємства та проекту (рисунок 1).

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

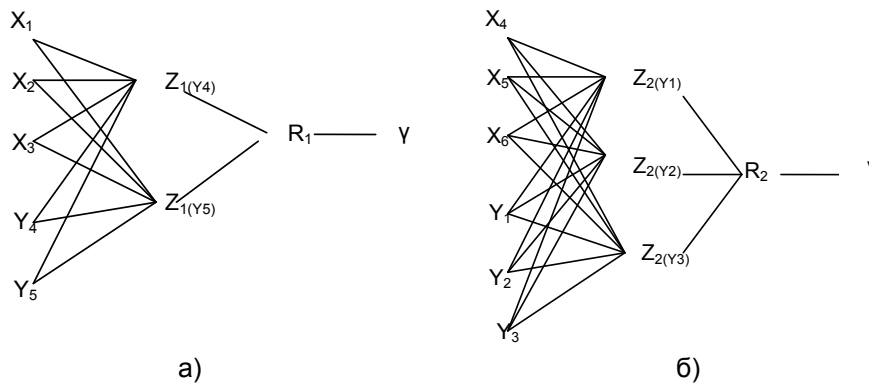


Рис. 1. Структура нейронних моделей управління «НМІС1» та «НМІС2»: а) ІС підприємства; б) ІС проекту

На основі визначеного кортежу вхідних даних нами була створена структура чотиришарової нейромережі «НМІС» – мережа, яка моделює процеси в інтегрованій інформаційній системі, яка приведена на рис. 2.

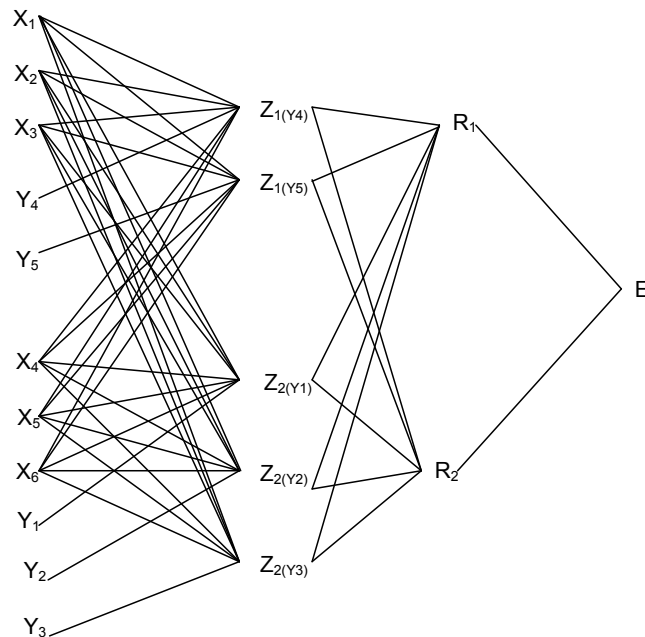


Рис. 2. Структура нейронної моделі управління інтегрованої системи «нейромережа «НМІС»

При визначенні кількості нейронів проміжного шару нейромережі «НМІС» було застосовано евристичне правило [6], на основі якого ця кількість дорівнює половині сумарної кількості входів і виходів. Функцією активації обрана гіперболічна тангенціальна (сигмоїдальна). Як навчальну функцію використовувати функцію, яка реалізує метод зворотного поширення (алгоритм Левенберга - Марквардта), яка забезпечує максимальну швидкодію.

Для побудови нейронної мережі в роботі був використаний пакет Neural Networks Toolbox (нейронні мережі) математичної системи MATLAB, розробленої фірмою MathWorks. Для проведення імітаційних експериментів

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

та зменшення розмірів задачі у приведених прикладах були розглянуті два вектори параметрів моделей навчальних одиниць (НО) (табл. 2).

Задачу навчання нейронних мереж сформулюємо як «необхідне досягнення системами параметрів управління R, γ, λ . Для вирішення даної задачі побудуємо нейромережі, використавши функцію **newff** :

$$net = newff(minmax(P), [5 2 1], {'tansig' 'tansig' 'purelin'}), \quad (2)$$

де *net* – ім'я нейромережі; *minmax(P)* – матриця мінімальних та максимальних значень вхідної матриці даних *P*; [5 2 1] – кількість прошарок та нейронів у них, 5 нейронів у першому шарі, 2 - в другому, 1 - у третьому; {'tansig' 'tansig' 'purelin'} – функція активації відповідного шару мережі.

Залежно від типу мережі, значення векторів управління приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Вектори управління інформаційних систем

Період <i>T</i>	ІС підприємства					ІС проекту					
	Входи, <i>X</i>			Виходи, <i>Y</i>		Входи, <i>X</i>			Виходи, <i>Y</i>		
	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	<i>Y</i> ₄	<i>Y</i> ₅	<i>X</i> ₄	<i>X</i> ₅	<i>X</i> ₆	<i>Y</i> ₁	<i>Y</i> ₂	<i>Y</i> ₃
1	100	2	0,2	0,1	550	0,3	1	5	0,1	0,2	78
2	300	3	0,4	0,2	1030	0,4	1	8	0,3	0,5	100
3	600	4	0,5	0,5	1800	0,6	2	12	0,5	0,6	150
4	800	5	0,7	0,8	2456	0,8	3	15	0,7	0,9	200
5	100	2	0,2	1	3020	1	3	16	1	1	250
Вектори управління для «НМІС1» та «НМІС2»	$Z_{1(Y4)}=\{0,414; 2,494; 19,350\};$ $Z_{1(Y5)}=\{0,414; 0,414; 0,399\}.$					$Z_{2(Y1)}=\{9,389; 2,684; 0,416\};$ $Z_{2(Y2)}=\{5,079; 1,379; 0,279\};$ $Z_{2(Y3)}=\{0,118; 0,199; 0,207\}.$					
Об'єднана економіко-інформаційна система											
Вектори управління «НМІС»	$Z_{1(Y4)}=\{0,207; 1,247; 9,677; 9,677; 2,772; 0,427\};$ $Z_{1(Y5)}=\{0,207; 0,207; 0,214; 0,214; 0,208; 0,207\};$ $Z_{2(Y1)}=\{0,207; 1,206; 9,389; 9,389; 2,684; 0,416\};$ $Z_{2(Y2)}=\{0,207; 1,247; 9,677; 9,677; 2,772; 0,427\};$ $Z_{2(Y3)}=\{0,207; 0,209; 0,286; 0,286; 0,215; 0,207\}.$										

Опитування мережі проведене до її навчання за допомогою функції **sim** для визначення співвідношення між виходом та метою:

$$Y1 = sim(net, P), \quad (3)$$

де *Y1* – ім'я допросу; *net* - ім'я мережі що опитали; *P* – вхідні параметри.

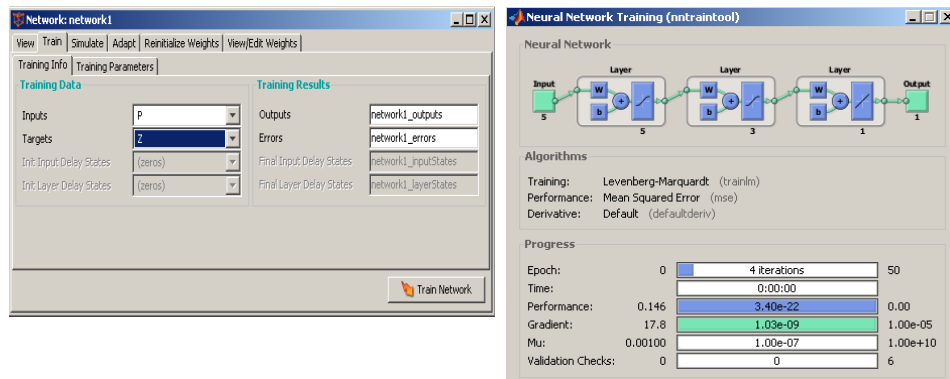
Навчання нейронної мережі проведене за допомогою функції **train**. Програмний код функції навчання:

$$[net,tr] = train(net, P, Z), \quad (4)$$

де *net* – ім'я мережі, що навчається; *P* – вхідні значення; *Z* – управління, яких потрібно досягнути.

Діалогове вікно функції приведене на рис. 3.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



а)

б)

Рис. 3. Тренування нейронної мережі: а) постановка задачі; б) результати роботи функції *train*.

На основі створеної мережі було проведено її навчання та опитування результатів роботи для визначення співвідношення між входами/виходами (Y/X) ІС при визначених векторах управління (Z). Практична реалізація моделей функціонування мереж «НМІС1» та «НМІС2» проведена на основі статистичних даних про інформаційні системи проекту та підприємства (табл. 1) .

Постановка задачі: для підвищення результатів функціонування систем була необхідно сформулювати масиви входів/виходів таким чином, щоб результати були на рівні не нижче:

- для мережі «НМІС1»:
 - $Z_{1(Y4)} = \{0,414; 2,494; 19,350\};$
 - $Z_{1(Y5)} = \{0,414; 0,414; 0,399\};$
- для мережі «НМІС2»:
 - $Z_{2(Y1)} = \{9,389; 2,684; 0,416\};$
 - $Z_{2(Y2)} = \{5,079; 1,379; 0,279\};$
 - $Z_{2(Y3)} = \{0,118; 0,199; 0,207\}.$

Результатів треба досягти за 10 епох (5 циклів проекту). Для досягнення заданої мети побудуємо мережу, яка буде включати в себе: в першому шарі - 5 нейронів (3 вхідних параметри і 2 вихідних), у третьому буде 1 нейрон, для виводу результату, у другому шарі буде 2 нейрони (управління Z).

Задамо вектор P та Z:

$$P = [0.2 \ 0.3; 0.4 \ 0.8; 0.3 \ 0.9; 0.26 \ 0.28; 0.18 \ 0.2];$$

$$Z = [20.0 \ 0.95],$$

де складові вектору P представляють собою середні за час життєвого циклу значення параметрів входу/виходу в питомих вагах та бажаний їх стан по досягненні кінця життєвого циклу.

Програмний код функції навчання нейромережі :

```
net = newff(minmax(P), [5 2 1], {'tansig' 'tansig' 'purelin'}); моделювання
мережі;
Y1 = sim(net, P) ; опитування мережі до навчання;
figure(1);
```

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

```
plot(Z,Y1) ; результати опитування мережі до навчання;
net.trainParam.epochs = 10 навчальний час;
[net,tr] = train(net, P, Z); навчання мережі.
```

```
Опитування мережі та представлення результатів навчання :
Y = sim(net, P);
figure(2);
plot(Z,Y,Z,Y1, '-').
```

Результати роботи нейромереж представлені на рис. 4. Процес досягнення ефективного управління ІС підприємства при заданій структурі моделі синергетичного управління на основі мережі «НМІС1» займає 5 епох (2,5 роки). Похибка моделювання становить $MSE=1,67 \cdot 10^{-21}$. Динаміка похибки навчання нейронної мережі представлена на рис. 4.

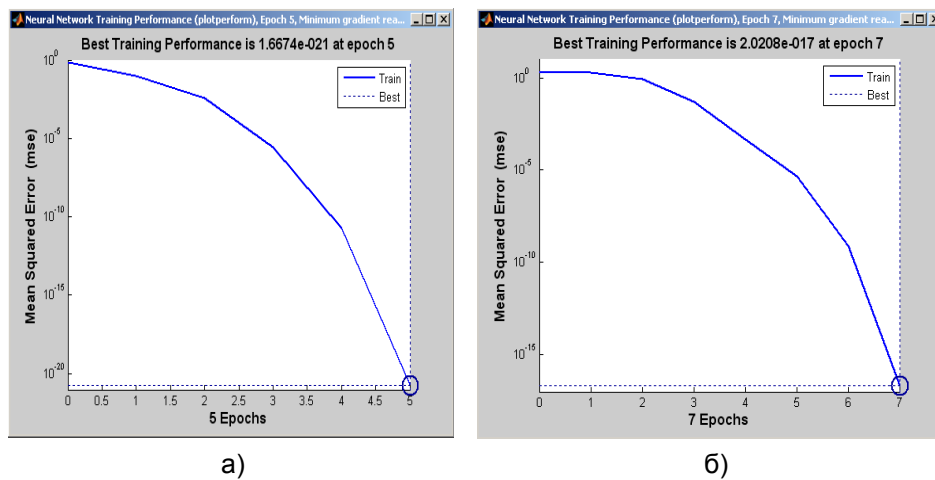


Рис. 4. Графік навчання нейронної мережі «НМІС2» (а), «НМІС2» (б) та допущених при навчанні помилок

Для моделювання функціонування ІС проекту (модель «НМІС2») також використаємо трьохшарову нейронну мережу. У першому шарі 5 нейронів, у другому 3, у третьому 1. Змоделюємо дану мережу:

```
P = [0.2 0.4; 0.2 0.5; 0.2 0.6; 0,22 0,48; 0,25 0,40; 0,25 0,8];
Z = [10.0 5.0 0,9].
```

Програмні коди:

- опитування :
net = newff(minmax(P), [5 3 1], {'tansig' 'tansig' 'purelin'});
- виведення результатів:
figure(1);
plot(Z,Y1) %графік нейросети до обученых
- навчання;
net.trainParam.epochs = 10;
[net,tr] = train(net, P, Z);
- опитування мережі після навчання:

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

```
Y = sim(net, P) %опрос обученой нейросети;  
figure(2);  
plot(Z,Y,Z,Y1, '-.-') %график нейросети после обученых.
```

Досягнення ефективного управління ІС підприємства при заданій структурі моделі управління на основі мережі «НМІС2» займає 7 епох (3,5 роки), що підтверджує попередні висновки, отримані в [7], щодо відсутності в поведінці ІС проекту атракторів та наявності великої кількості нестійких станів. Похибка моделювання поведінки ІС проекту значно більша і становить $MSE=2,02 \cdot 10^{-17}$.

Висновки. Побудовані нейронні мережі для інформаційних систем підприємства та проекту дають змогу проводити імітаційне моделювання в режимі реального часу та проводити оцінки параметрів інтеграції систем. Варіацій входів/виходів систем дає змогу визначати параметри управління (вектори управління системами), за яких інтегрована система досягає максимального ефективного стану. На основі нейромереж роботи було доведено, що системи можуть досягти власного ефективного стану роботи при заданих векторах управління за 5 та 7 епох відповідно (2,5 та 3,5 роки).

Але при цьому не були встановлені показники ефективності та рекомендовані міри зміни ресурсів систем для досягнення ними ефективних станів. Реалізація задачі визначення комплексного показника ефективності інтегрованої системи може бути поставлена в наступних дослідженнях.

Література

1. Анализ эффективности функционирования сложных систем / В. Е. Кривоножко, А. И. Пропой, Р. В. Сеньков, И. В. Родченков, П. М. Анохин // Автоматизация проектирования. – 1999. – № 1. – С. 2–7.
2. Системный анализ и принятие решений : словарь-справочник : учеб.пособие / [под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова]. – М. : Высшая школа, 2004. – 616 с.
3. Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century : Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia) / Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company. – Moscow : International Research Institute of Management Sciences, 2002. – 178 p.
4. Моргунова О. Н. Экспертные методы формирования искусственных границ эффективности / О. Н. Моргунова // Научное обозрение. – 2006. – № 5. – С. 61–65.
5. Гололобова В.А. Опыт нейросетевых технологий в муниципальных учреждениях здравоохранения / В.А. Гололобова, М.А. Алыменко, Г.С. Маль // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 7 – С. 137-138.
6. Омату С. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2. / С. Омату, М. Халид, Р. Юсоф; пер. с англ. Н.В. Батина; [под ред. А.И. Галушкина, В.А. Птичкина]. - М.: ИПРЖР, 2000. - 272 с.
7. Скітер І.С. Методика дослідження та моделювання динаміки двох інформаційних систем, які взаємодіють у просторі та часі / І.С. Скітер, М.В. Двоєглазова // Управління розвитком складних систем. – 2011. – Вип. 5. - С. 35-41.

Надійшла 21.12.2012 р.