

УДК 681.335:004.891

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ
СИНЕРГЕТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**INTELLIGENT TECHNOLOGY
OF SYNERGETIC MANAGEMENT**

Т.Л. МАЗУРОК, докт.техн.наук

*Південноукраїнський національний педагогічний університет
ім. К.Д. Ушинського, Україна*

У статті наведено результати дослідження синтезу інтелектуальної технології синергетичного управління організаційно-технічною системою на прикладі автоматизованої системи управління навчанням. Наведено результати практичної реалізації.

Ключові слова: синергетичне управління організаційно-технічною системою, інтелектуальний перетворювач, інтелектуальна технологія, нейромережева реалізація синергетичної моделі управління.

В статье приведены результаты исследования синтеза интеллектуальной технологии синергетического управления организационно-технической системой на примере автоматизированной системы управления обучением. Приведены результаты практической реализации.

Ключевые слова: синергетическое управление организационно-технической системой, интеллектуальный преобразователь, интеллектуальная технология, нейросетевая реализация синергетической модели управления.

The article presents the results of research into the synthesis of intellectual technology of synergetic control of the organizational and technical system using the example of an automatization learning control system. The results of practical implementation are given. A peculiarity of the synergetic approach is the consideration of the internal self-development of the system in developing

Keywords: control of organization and technical system, intellectual converter, intellectual technology, neural networks realization of synergetic control model.

© Мазурок Т.Л., 2017

Вступ. Сучасні складні системи різноманітної природи складаються з комплексу різних підсистем, що виконують певні функції та пов'язані між собою процесами динамічної взаємодії та обміном інформацією. Такі системи є багатомірними, нелінійними та багатозв'язними.

Кібернетичний підхід до автоматизації управління такими системами передбачає жорстке централізоване управління, що не дозволяє врахувати внутрішній саморозвиток системи.

В управлінні сучасними організаційно-технічними системами (ОТС), до складу яких входять організаційні підсистеми різної конфігурації, необхідною умовою підвищення ефективності є врахування їх внутрішнього саморозвитку при виробленні управляючого впливу.

Тому для управління ОТС найбільш доцільним є застосування синергетичного підходу в якості основи розвитку синергетичної теорії управління, яка є втіленням принципів самоорганізації до проблем управління [1].

Аналіз основних досягнень і літератури. Синергетичний підхід до управління – це розвиток системного підходу, який надає нові можливості для дослідження управлінської діяльності. Врахування синергетичних закономірностей суттєво змінює традиційні представлення щодо управління [2].

В традиційних системах ефект управляючої дії однозначно та лінійно залежить від величини докладених зусиль.

Але в складноорганізованих системах, до яких належить і система навчання, неможна ззовні нав'язувати шляхи розвитку.

Необхідно визначити, за допомогою чого і як можна сприяти їх власній тенденції розвитку.

Об'єктивні закони єдності самоорганізації та управління становлять основу розвитку сучасної теорії управління.

Різні аспекти становлення синергетичної теорії управління розглянуто в працях Лєтова О.М., Красовського О.А., Колеснікова А.А., Курдюмова С.П. та їх численних учнів.

Втім, особливості розширення фазового простору станів і відповідної відкритості ОТС за рахунок переважно інформаційного впливу на систему, визначає актуальну та невирішену проблему вдосконалення моделей та методів реалізації синергетичного підходу до автоматизації управління ОТС.

В межах цієї проблеми актуальним є розробка моделей та методів реалізації врахування процесу саморозвитку соціальної складової об'єкту управління.

Синергетична теорія управління дозволяє по новому поставити, а потім ефективно вирішити багато важких проблем управління, які неможливо було розв'язати існуючими методами теорії управління, або які зовсім не ставились завдяки їх особливій складності.

Якщо проаналізувати існуючі засоби реалізації синергетичного управління, то до найбільш відомих відносяться: fuzzy-регулятори, багаточарові нейронні мережі, еволюційні методи, гібридні. Згідно з висновками, ефект синергетики настає при сумісному використанні нечітких методів, нейромережових та еволюційних.

Метою дослідження є формування основних етапів інтелектуальної технології, що реалізує синергетичну модель управління ОТС.

Модель синергетичного управління ОТС. ОТС є нелінійною, дисипативною, динамічною системою. Прикладні аспекти застосування синергетичного підходу для її управління визначаються особливостями предметної галузі, в якій функціонує така система. Узагальнення досвіду застосування синергетичної моделі управління індивідуалізованим навчанням [3] дозволяє визначити основні елементи моделі синергетичного управління ОТС M

$$M = \langle \{I\}, \{C\}, \{U\} \rangle \quad (1)$$

де $\{I\}$ – вектор параметрів, що визначають початковий стан об'єкту управління (ОУ);

$\{C\}$ – множина векторів параметрів, що визначають поточні стани ОУ в моменти часу i : $C = \{C_i\}$;

$\{U\}$ – множина векторів параметрів, що визначають управляючі впливи.

Конкретизація опису елементів моделі (1) визначається відповідною предметною галуззю, але для ОТС в цілому характерним є розбиття множини параметрів стану ОУ на дві групи: параметри, що характеризують технічну складову ОТС: $\{I_T\}$, $\{C_T\}$, та параметри, що характеризують організаційну, тобто соціальну складову ОТС: $\{I_O\}$, $\{C_O\}$. Отже, в загальному випадку

$$\{I\} = \{I_T\} \cup \{I_O\}, \quad \{C\} = \{C_T\} \cup \{C_O\} \quad (2)$$

Відповідно до цього розбиття параметрів стану ОУ алгоритм функціонування, на основі якого визначається управляючий вплив кожного циклу управління ОТС, як цілісною системою, можна визначити композицією наступного виду:

$$\varphi = \varphi_1 \circ \varphi_2, \quad (3)$$

де $\varphi = U(I, C)$ – алгоритм функціонування ОТС;

φ_1 – алгоритм функціонування технічної складової;

φ_2 – алгоритм функціонування організаційної складової ОУ.

Визначення φ_1 базується, як правило, на аналітичних закономірностях та залежностях відповідної технічної складової. Втім визначення φ_2 пов'язано із труднощами, що обумовлені слабкою формалізованістю, неповнотою та невизначеністю.

Тому логічним є припущення щодо доцільності «наближення» саме φ_1 до φ_2 на основі структурно-параметричної адаптації системи автоматизованого управління ОТС.

Згідно до основних положень синергетичного підходу до управління, узгодженість між φ_1 та φ_2 із подальшим визначенням характеру залежності $\varphi(\varphi_1, \varphi_2)$ призводить до зменшення ступенів свободи, тобто зуження фазового простору станів ОТС.

Внаслідок цього утворюються атрактори, до яких притягуються траєкторії системи.

За кожний цикл управління здійснюється автоматизоване переконфігурування елементів системи управління.

На рис. 1 представлено модифікацію схеми управління [3], особливістю якої є доповнення та розвинення кібернетичного підходу синергетичним на основі розділення ОУ, тобто поширення фазового простору, переконфігурування автоматизованої системи управління (АСУ) з метою налагодження $\varphi(\varphi_1, \varphi_2)$ з врахуванням саморозвитку φ_2 .

Декомпозиція узагальненої схеми синергетичного управління ОТС дозволяє виявити основні процедури, функціонування яких забезпечує вироблення управляючого впливу, що забезпечує φ_2 .

До таких процедур відносяться: ідентифікація вектору характеристик початкового стану; супровід процесу управління з боку експертної системи; формування графу переходів станів процесу; процедури прогнозу параметрів вектору стану та планування послідовності; оперативне планування; контроль; виклик підсистеми управління; передача параметрів між блоками системи та в надсистему управління.

Однак, при визначенні параметрів організаційної складової існує декілька проблем:

а) процес визначення суттєвих параметрів, що підлягають обов'язковому врахуванню, не є завершеним. Перелік, методи оцінювання параметрів моделі постійно змінюється в наслідок різного типу обставин;

б) переважна більшість параметрів є неметризованими, тобто не існує однозначних процедур вимірювання. Тому якісні показники домінують над кількісними;

в) основним засобом отримання значень параметрів є суб'єктивне оцінювання. Зазвичай більшість параметрів не підлягає жодній формі вербалізації, тобто залишається у неформалізованому вигляді. Отже, більшість засобів оцінювання параметрів процесу, що управляється, базується на експертному оцінюванні;

г) експертне оцінювання параметрів характеризується невизначеністю, неточністю, нечіткістю, неоднозначністю та неповнотою;

д) в системах управління навчанням у зв'язку із спробами кількісної оцінки якісних показників, які застосовуються в логічному розсуді, виникає лінгвістична невизначеність, або нечіткість

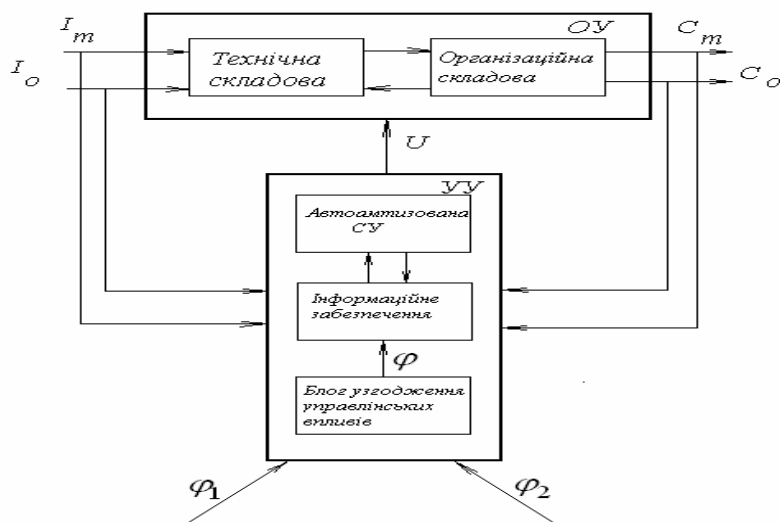


Рис. 1. Схема синергетичного управління ОТС

Однак, незважаючи на ці проблеми, які мають бути врахованими при реалізації системи управління та її інформаційного забезпечення за допомогою використання нечітких множин та нечіткого логічного виведення, розглянемо структурно-функціональні схеми у формалізованому описі (рис. 2).

Основою для формалізації є перетворення, в якому визначено вхід (V), вихід (W), перетворювач (П), ресурси (R) і засоби (S).

Під *перетворювачем* розуміємо методику, формалізований або комп'ютерний алгоритм перетворення вхідних параметрів на вихідні [4]. В якості засобів розглянемо відповідний інструментарій автоматизації визначених перетворень.

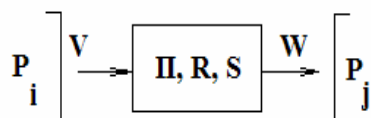


Рис. 2. Графічна інтерпретація опису схем управління

Дослідження інтелектуальних перетворень здійснювалось на прикладі сучасної педагогічної системи, що відноситься до ОТС.

Інтелектуальні перетворення. Усі параметри, що входять до опису схеми управління ОТС, можна згрупувати наступним чином:

- а) параметри, що є детермінованими;
- б) параметри, що мають ймовірнісний характер;
- в) параметри, що є погано визначеними.

Отже, на основі декомпозиції схеми управління, для автоматизованої системи управління навчанням навчальному елементові (НЕ) множину вхідних параметрів V_{HE} утворює вектор з трьох множин:

$$V_{HE} = \{P_1, P_2, P_3\}, \quad (4)$$

де P_1 – ідентифікатор (наприклад, назва) навчального елементу;

P_2 – вектор інтелекту, який відображає продуктивність навчання за допомогою двох коефіцієнтів: f – коефіцієнту забування; c – коефіцієнту умовиводу;

P_3 – діагностично заданий вектор цілі навчання

$$C_{nl} = \{U, A, V, K_s, K_n\}.$$

Множину вихідних параметрів W утворює наступний вектор:

$$W_{HE} = \{P_4, P_5, P_6\}, \quad (5)$$

де P_4 – вектор стану, який визначає результативність навчання за допомогою двох коефіцієнтів: x – відносний об'єм накопичених знань (відносна кількість вершин у блоці пам'яті A); y – відносний об'єм сформованих вмій (відносна кількість дуг у блоці умовиводу B);

P_5 – характеристика відхилення за часом T^* ;

P_6 – характеристика відхилення за досяжністю цілі C^* .

Проаналізуємо ступінь визначеності наведених параметрів та алгоритмів їх перетворення. Усі параметри, що входять до опису схеми управління навчанням НЕ, можна згрупувати наступним чином:

а) параметри, що є детермінованими: вектор цілі навчання, вектор його фактичних досягнень, вектор відхилень мети та часу навчання – C^*, T^* ;

б) параметри, що мають ймовірнісний характер: параметри вектору інтелекту (f, c) та вектору стану (x, y);

в) погано визначеними є параметри вектору управління (h, u), інформація щодо корегування процесу учіння.

У відповідності до цього розподілу алгоритми перетворення можна класифікувати за ступенем визначеності: до повністю детермінованих алгоритмів належать алгоритми обчислення параметрів вектору цілі навчання, їх фактичних значень та відхилень, а також алгоритми обчислення відповідних часових характеристик навчання.

Визначення параметрів вектору інтелекту пов'язано із застосуванням експертних оцінок, а також вилученням інформації на основі статистичних даних спостережень за результативністю навчання.

Отже ці алгоритми відносяться до алгоритмів із високим ступенем невизначеності, потребують застосування інтелектуальних засобів для реалізації відповідних перетворень. За класифікацією задач управління зазначені перетворення стосуються ідентифікації та прогнозування.

До цієї ж групи алгоритмів відносяться перетворення із визначення параметрів управління.

Перетворення V в W характеризується в загальному випадку високим ступенем невизначеності параметрів вектору інтелекту та вектору станів, прогнозованих значень часу та досяжності цілі навчання.

Алгоритм перетворень теж не є детермінованим, бо його здійснення визначається не тільки станом вектору інтелекту, а й особливостями здійснення самого процесу навчання, послідовності операцій учіння.

Тому здійснення таких перетворень доцільно реалізувати на основі синтезу аналітичного визначення параметрів із процедурою логічного виведення.

Визначення параметрів вектору управління в умовах наявності історії навчання найбільш доцільно реалізувати засобами навченої нейронної мережі.

Групування параметрів за ступенем невизначеності є наступним:

а) детерміновані параметри: вектор цілі навчання, вектор його фактичних досягнень, вектор відхилень мети та часу навчання – C^*, T^* ;

б) параметри, що мають ймовірнісний характер: параметри вектору інтелекту (f, c) та вектору стану (x, y) ;

в) погано визначеними є параметри вектору управління (h, U) , опис графу навчання, інформація щодо індивідуального вибору послідовності вивчення НЕ.

Тоді до перетворень за детермінованими алгоритмами можна віднести обчислення параметрів вектору цілі навчання, їх фактичних значень та відхилень, а також алгоритми обчислення відповідних часових характеристик навчання.

Визначення параметрів вектору інтелекту, опису графу навчання та формування послідовності НЕ є недетермінованими.

Отже ці алгоритми відносяться до алгоритмів із високим ступенем невизначеності, потребують застосування інтелектуальних засобів для реалізації відповідних перетворень.

За класифікацією задач управління зазначені перетворення стосуються ідентифікації, прогнозування та планування.

До цієї ж групи алгоритмів відносяться перетворення із визначення параметрів управління та підтримки оперативного управління.

Для АСУ формування системи компетенцій СКМП, що є вищою над АСУ КМП множину вхідних параметрів $V_{СКМП}$ утворює вектор з трьох множин

$$V_{СКМП} = \{P_{20}, P_{21}, P_{22}, P_{23}\}, \quad (6)$$

де P_{20} – ідентифікатор набору (системи) компетенцій;

P_{21} – вектор інтелекту;

P_{22} – діагностично заданий вектор цілі навчання;

P_{23} – заданий час формування СКМП.

Множину вихідних параметрів $W_{СКМП}$ утворює вектор

$$W_{СКМП} = \{P_{24}, P_{25}, P_{26}\}, \quad (7)$$

де P_{24} – вектор стану;

P_{25} – характеристика відхилення за часом T^* ;

P_{26} – характеристика відхилення за досяжністю цілі C^* .

Групування параметрів за ступенем невизначеності є наступним:

а) детерміновані параметри: вектор цілі навчання, вектор його фактичних досягнень, вектор відхилень мети та часу навчання – C^*, T^* ;

б) параметри, що мають ймовірнісний характер: параметри вектору інтелекту (f, c) та вектору стану (x, y) ;

в) погано визначеними є параметри вектору управління (h, U) , послідовність НЕ з урахуванням системи міжпредметних взаємозв'язків.

Отже, до перетворень за детермінованими алгоритмами можна віднести обчислення параметрів вектору цілі навчання, їх фактичних значень та відхилень, а також алгоритми обчислення відповідних часових характеристик навчання.

Визначення параметрів вектору інтелекту, ступеня інтеграції між НД, взаємодія між моделлю компетенцій та моделлю міжпредметних зв'язків, формування послідовності НЕ з урахуванням впливу інтеграції на формування системи компетенції не є детермінованими.

Отже ці алгоритми відносяться до алгоритмів із високим ступенем невизначеності, потребують застосування інтелектуальних засобів для реалізації відповідних перетворень.

За класифікацією задач управління зазначені перетворення стосуються ідентифікації, прогнозування, кластеризації та планування.

До цієї ж групи алгоритмів відносяться перетворення із визначення параметрів управління та підтримки оперативного управління, яке здійснює перемикання між процесами формування відповідних КМП.

Також потребує розкриття невизначеності процес формування моделі системи компетенцій на основі кваліфікаційних вимог, мають лінгвістичний опис.

Схема також містить неформалізовану процедуру проектування дидактичної системи, що також може бути здійсненим з використанням сучасних засобів інтелектуальних перетворень.

Узагальнення опису основних параметричних перетворень в автоматизованій системі управління навчанням АСУ-Н дозволяє класифікувати їх за типом функції управління та засобами реалізації відповідних перетворень.

Таким чином, декомпозиція схеми управління навчанням та подальший аналіз ступеня невизначеності параметрів та їх основних перетворень, дозволили визначити основні типи функції управління, відповідні засоби реалізації.

Нейромережева реалізація інтелектуальної технології синергетичного управління. На основі визначення інтелектуальних перетворень, що є необхідними для реалізації схеми синергетичного управління, та аналізу доцільності застосування відповідних інтелектуальних засобів, обрано гібридний метод, що поєднує нейронні мережі з нечітким логічним виведенням та еволюційний метод оптимізації прийнятого рішення.

Декомпозиція структурно-функціональної схеми АСУ-Н обумовила особливості її реалізації на основі синтезу перетворювачів інформації щодо основних параметрів управління.

Наскрізним для усього процесу навчання є реалізація синергетичної моделі управління. Тому розглянемо особливості її реалізації.

Так як теорія синергетичного управління є сучасною концепцією синтезу та аналізу систем управління багатомірними нелінійними об'єктами у динамічних системах, а одним з універсальних засобів формування управляючих впливів є нейронні мережі, то перспективним є об'єднання концепцій синергетичного та нейромережевого управління в динамічних системах [5].

Основною метою нейромережевої реалізації є відтворення на виході навченої нейронної мережі параметру управління. Апроксимацію нелінійних безперервних функцій можна виконати за допомогою двохшарової нейромережі.

На основі співвідношень [2] можна визначити, що управління навчанням у вигляді оптимального співвідношення між знаннями та вміннями для кожного учня визначається п'ятьма параметрами: f, c, x, y, λ . Тому в якості елементів вхідного шару розглянемо ці п'ять змінних. Структуру тришарової нейронної мережі наведено на рис. 3.

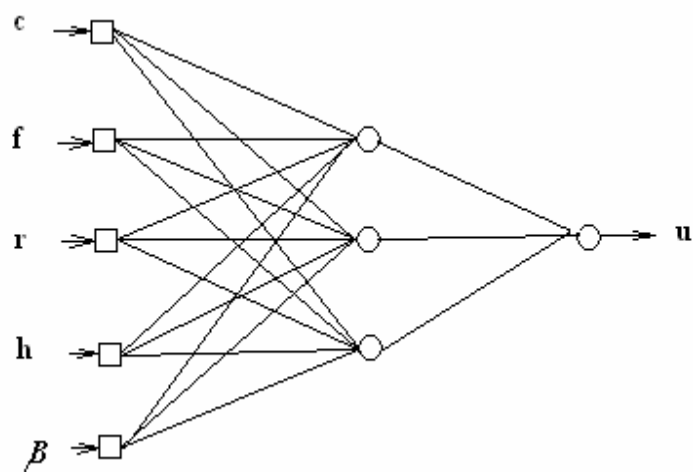


Рис. 3. Структура нейромережі синергетичного управління навчанням

При визначенні кількості нейронів проміжного шару було використано евристичне правило, на основі якого ця кількість становить половину сумарної кількості входів та виходів.

Функцією активації обрано гіперболічну тангенціальну.

В якості функції навчання обрано функцію, що реалізує метод зворотного розповсюдження (алгоритм Левенберга-Марквардта), яка забезпечує максимальну швидкодію.

Одним з простих та доступних програмних продуктів, які реалізують нейромережеву архітектуру, є пакет Neural Networks Toolbox математичної системи Matlab, до складу якого входить спеціальна функція NEWFF для створення багатошарових нейронних мереж прямої передачі з заданими функціями навчання й налагодження, які використовують метод зворотного розповсюдження помилки.

Розглянемо на прикладі використання даної функції для реалізації нейромережевого управління синергетичною моделлю навчання.

Для зменшення розмірності в наведеному прикладі обмежимо розгляд двома векторами параметрів моделей осіб, що навчаються.

До входніх аргументів функції newff відносяться: масив входу P , строки якого являють собою різні варіанти значень параметрів моделі учня f , c , x , y , λ , які отримано на основі опитування експертів; вектор цілей T ; інформація щодо структури шарів мережі; мінімальні й максимальні значення для R векторів входу.

Функції активації першого та другого шарів – сигмоїдальна нелінійна функція гіперболічного тангенсу $tansig$, третього шару – лінійна

тотожна purelin. Тоді формування багатошарової нейронної мережі має вигляд:

```
net = newff ([0 1; 0 1; 0 1; 20 80; 0 100], [5 3 1],  
{'tansig','tansig','purelin'}, 'trainlm');
```

```
gensim(net);
```

Навчання мережі здійснювалось на протязі 50 циклів.

```
net.trainParam.epochs = 50;
```

```
net = train(net,P,T);
```

Характеристику точності навчання показано на рис. 4, ustalena середньоквадратична похибка складає приблизно $7,7 \cdot 10^{-33}$.

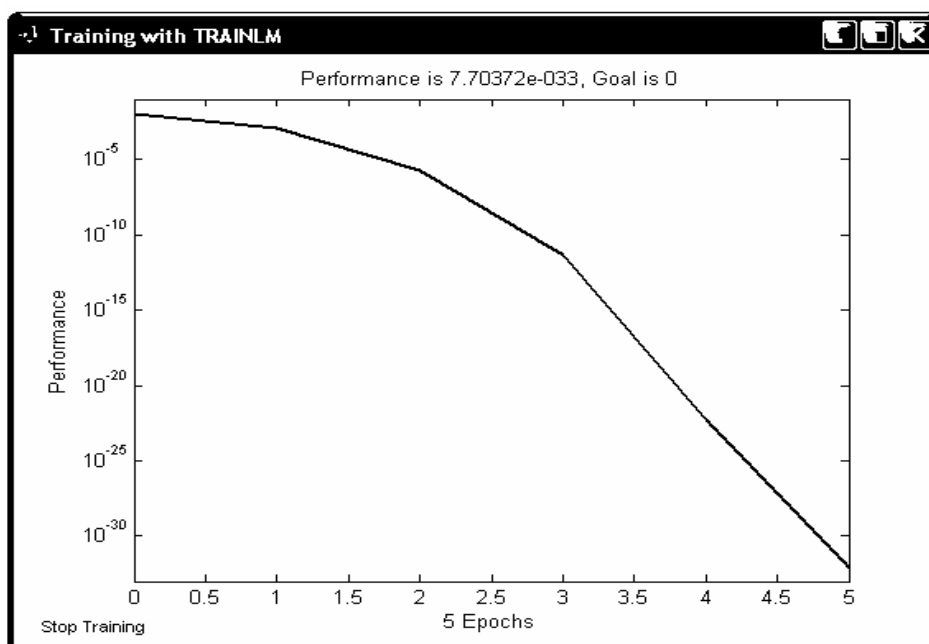


Рис. 4. Графік навчання нейронної мережі

Виконаємо моделювання сформованої трьохшарової мережі із використанням навчаючої послідовності входу:

```
Y = sim(net,P);
```

```
plot(T,Y);
```

Результати комп'ютерного моделювання навчання свідчать про добре відображення вхідної послідовності у вихідну.

Висновки. Таким чином, виконано формування й навчання нейронної мережі, на основі якої можна отримувати значення частки часу, що доцільно відвести накопиченню знань.

Це відповідає визначенню співвідношення між формуванням знань та вмій для кожного конкретного учня.

Особливістю запропонованої схеми є використання синергетичного підходу, що базується на урахуванні внутрішнього розвитку об'єкту (вектору інтелекту учня) при виборі навчаючих впливів.

Інтелектуальна технологія синергетичного управління ОТС складається з наступних етапів: моделювання внутрішніх процесів саморозвитку процесу, що управляється; формування структурно-функціональної схеми системи управління, її декомпозиція; визначення для кожного ступеня декомпозиції інтелектуальних перетворень, добір відповідних інтелектуальних засобів, їх реалізація.

Відмінність технології створення системи управління ОТС від наведеного прикладу для АСУ-Н визначається особливостями опису саморозвитку організаційної складової конкретної ОТС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза / А.А. Колесников. – М.: УРСС, 2006. – 240 с.
2. Современная прикладная теория управления: оптимальный подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 400 с.
3. Мазурок Т.Л. Синергетическая модель индивидуализированного управления обучением / Т.Л. Мазурок // Математические машины и системы. – 2010. – № 3. – С. 124-134.
4. Проектування інформаційних систем: Посібник / За ред. В.С. Пономаренка. – К.: Видавничий центр «Академія», 2002. – 488 с.
5. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления / В.А. Терехов. – М.: ВШ, 2002. – 183 с.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017