

УДК 519.254

ЗАГАЛЬНА СХЕМА ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПОШУКУ РІШЕНЬ

ПРОДОВ В. Ф.¹, *д.т.н., проф.*,
БАРСУК Р. В.², *аспірант*

^{1*} Державний вищий навчальний заклад: “Придніпровська Державна Академія Будівництва та Архітектури”, кафедра теплотехніки та газопостачання, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

^{2*} Державний вищий навчальний заклад: “Придніпровська Державна Академія Будівництва та Архітектури”, кафедра теплотехніки та газопостачання, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

Анотація. Мета. У математичному моделюванні зустрічаються задачі, об’єктом дослідження яких є складні системи. Прикладом можуть служити об’єкти дослідження конвекції, переносу тепла та інші. Також такі системи можуть бути складними у дослідженні. Через це, досить часто, отримується мала кількість експериментальних даних. Отже основним питанням є знаходження варіанту побудови математичної моделі з невеликою кількістю вхідних даних. Таким методом обрано самоорганізацію математичних моделей, розроблену А. Г. Івахненко. **Методика.** У порівнянні з іншими методами, такими як дисперсійний аналіз, цей метод є досить новим. Але за час своєї малої історії він вже довів своє практичне значення. Структурний алгоритм методу самоорганізації, що вказаний на Рис.1, дає пояснення до того, як генеруються моделі. Особливе значення має “частковий опис”. Він характеризує ускладнення моделі та її можливість застосування. У статті вказано, що найчастіше використовується лінійний “частковий опис”. Але враховуючи сферу застосування методу, лінійний опис не зможе описати об’єкт дослідження. Тому запропоновано використати нелінійний “частковий опис” для цього методу. Також наведені приклади нелінійних функцій, які можуть використовуватися під час опису об’єкту. **Результати.** Розроблений метод еволюційного пошуку для методів самоорганізації математичних моделей. У статті більш детально розглянуто цей пошук та наведена блок-схема алгоритму, яка представлена на Рис.2. Запропоновано використання “часткових описів” у нелінійній формі. Приведено роз’яснення до цього алгоритму та вказано на важливість виду “часткових описів” для побудови математичної моделі об’єкту дослідження. **Наукова новизна.** Наведена розроблена загальна схема побудови математичних моделей складних систем шляхом самоорганізації з використанням еволюційного пошуку параметрів моделі “часткового опису”, які можуть входити до їхнього складу нелінійно. Відмінна збіжність з вірогідністю 1 процесів еволюційного пошуку параметрів моделі “часткового опису”. **Практична значимість.** Загальна схема самоорганізації моделей з використанням еволюційного пошуку рішень була програмно реалізована. Це вказує на можливість широкого використання цих методів та підвищення точності моделювання, у порівнянні з існуючими методами.

Ключові слова: індуктивний метод самоорганізації моделей складних систем; еволюційний пошук; алгоритм; критерій подоби; частковий опис

ОБЩАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМОВ САМООРГАНИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА РЕШЕНИЙ

ПРОДОВ В. Ф.¹, *д.т.н., проф.*,
БАРСУК Р. В.², *аспірант*

^{1*} Государственное высшее учебное заведение: “Приднепровская Государственная Академия Строительства и Архитектуры”, кафедра теплотехники и газоснабжения, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

^{2*} Государственное высшее учебное заведение: “Приднепровская Государственная Академия Строительства и Архитектуры”, кафедра теплотехники и газоснабжения, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

Аннотация. Цель. В математическом моделировании встречаются задачи, объектом исследования которых являются сложные системы. Примером могут служить объекты исследования конвекции, переноса тепла и другие. Также такие системы могут быть сложными в исследовании. Из-за этого, довольно часто, получается малое количество экспериментальных данных. Следовательно, главным вопросом есть нахождение варианта построения математической модели с небольшим количеством входных данных. Таким методом выбрана самоорганизация математических моделей, разработанную А. Г. Ивахненко. **Методика.** В сравнении с другими методами, такими как дисперсионный анализ, этот метод является достаточно новым. Но за время своей небольшой истории он уже доказал своё практическое значение.

Структурный алгоритм метода самоорганизации, что изображен на Рис.1, даёт разъяснение к тому, как генерируются модели. Особое значение имеет “частичное описание”. Он характеризует усложнение модели и её возможность применения. В статье указано, что наиболее часто используется линейное “частное описание”. Но учитывая сферу применения метода, линейное описание не сможет описать объект исследования. Поэтому предложено использовать нелинейное “частичное описание” для этого метода. Также приведены примеры нелинейных функций, которые могут использоваться во время описания объекта. **Результаты.** Разработан метод эволюционного поиска для методов самоорганизации математических моделей. В статье более детально рассмотрен этот поиск и приведена блок-схема алгоритма, которая представлена на Рис.2. Предложено использование “частичных описаний” в нелинейной форме. Приведено разъяснение к этому алгоритму и указано на важность вида “частичных описаний” для построения математической модели объекта исследования. **Научная новизна.** Представлена разработанная общая схема построения математических моделей сложных систем путём самоорганизации с использованием эволюционного поиска параметров модели “частичного описания”, которые могут входить в их состав нелинейно. Отличительная особенность с вероятностью 1 процессов эволюционного поиска параметров модели “частичного описания”. **Практическая значимость.** Общая схема самоорганизации моделей с использованием эволюционного поиска решений была программно реализовано. Это указывает на возможность более широкого использования этих методов и повышение точности моделирования, в сравнении с существующими методами.

Ключевые слова: индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем; эволюционный поиск; алгоритм; критерий подобия; частичное описание

GENERAL SCHEME OF COMPLEX SYSTEMS MODELS OF SELF-ORGANIZATION ALGORITHMS CONSTRUCTION USING EVOLUTIONARY SEARCH

IRODOV V. F.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
BARSUK R. V.², *Post Grad. St.*

¹* State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Department of Heat Engineering and gas supply, Chernishevskogo str. 24-A, Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, -mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862.

²* State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Department of Heat Engineering and gas supply, Chernishevskogo str. 24-A, Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, e-mail: Falazar@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9666-7496.

Abstract. Purpose. There are occur tasks in the mathematical modeling, the object of study which are complex systems. Convection, heat transfer and other are the objects examples of study. In addition, such systems could be difficult for study. Because of that, number of small experimental data often obtained. Therefore, the main question is to find mathematical model constructing variant with small amount of input data. The self-organization of mathematical models designed by A.G. Ivahnenko is chose. **Methodology.** In comparison with other methods, such as analysis of variance, this method is relatively new. However, during its short stories, it has practical value already proved. The clarification of generating models gives by structural algorithm of self-organization that illustrated at Pic.1. “Partial description” has a special importance. It characterizes the complexity of the model and possibility of its using. Linear “private description” is using most commonly as it pointed in the article. However, considering the scope of the using this method, linear description cannot describe the object of study. Therefore, it proposed to use non-linear “partial description” for this method. In addition, there are examples of non-linear functions that could using during description of the object. **Findings.** There are methods of evolutionary search for self-organization of mathematical models are developed. This is search reviewed more detailed in the article and shown a block-diagram of the algorithm at Pic.2. It is suggest using “partial description” in a nonlinear form. There are description to this algorithm and shown the importance of “partial description” form for building object of study a mathematical model. **Originality.** There is developed construction of complex systems mathematical models general scheme by using self-organization with model parameters “partial description” evolutionary search. There is distinctive convergence with probability 1 process model parameters “partial description” evolutionary search. **Practical value.** Models self-organization general scheme using evolutionary solutions search has been realized programmatically. It is indicated the possibility of these methods more widely using and increasing the simulation accuracy in comparison with existing methods.

Keywords: inductive method of self-organization models of complex systems; evolutionary search; algorithm; similarity criterion; partial description

Введення

Під час дослідів різних об'єктів часто зустрічаються задачі з малою кількістю експериментальних даних, які характеризують предмет моделювання. Особливо це стосується складних систем, або неможливості довготривалого та глибокого вивчення об'єкту задля отримання

великої кількості експериментальних даних, як, наприклад, того потребує регресійний аналіз. Існують різні методи моделювання, серед яких виділяються штучні нейронні мережі [13], теорія прийняття рішень та інші. Одним із варіантів рішення таких задач є використання індуктивного методу самоорганізації моделей, розробленого Івахненко А. Г. [3]. Жорстке або детерміноване

моделювання, як управління, планування або розпізнавання образів дає іноді помилкове рішення, особливо при рішенні складних задач. У протилежність їм, моделюючим принципам самоорганізації відповідає багаторядковість та наявність свободи вибору рішень, тобто вони дозволяють впливати людині на результат відбору та управляти у деякій мірі селекцією моделей.

Мета

Методи самоорганізації розкриті у [14, 11, 8], де наведені основні принципи та загальні положення.

У роботі [2] описана загальна схема побудування алгоритмів самоорганізації, і приведена нижче.

Алгоритми, що реалізують ці методи, відтворюють схему масової селекції. У них є генератори комбінацій, які ускладнюються із ряду до ряду та порогові самовідбори кращих з них. Так названий повний опис об'єкта:

$$\varphi = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

Замінюється декількома рядами часткових описів: Перший ряд селекції:

$$\begin{aligned} y_1 &= f(x_1, x_2) \\ y_2 &= f(x_1, x_3) \\ \dots \\ y_s &= f(x_{n-1}, x_n) \end{aligned} \quad (2)$$

де: $s = c_n^2$

Другий ряд селекції:

$$\begin{aligned} z_1 &= f(y_1, y_2) \\ z_2 &= f(y_1, y_3) \\ \dots \\ z_p &= f(y_{s-1}, y_s) \end{aligned} \quad (3)$$

і т.д.,

де: $p = c_s^2$.

Різні алгоритми МГУА відрізняються один від одного по вигляду функції f . Відомі алгоритми з квадратичними або з лінійними поліномами, імовірнісні алгоритми МГУА, що використовують формули Байєса або теорії статистичних рішень, та багато інших.

Методика

Останнім часом почали використовувати МГУА у різних сферах життя [15, 12, 10]. У роботах [9, 1, 16, 7] описані варіанти застосування еволюційних алгоритмів.

Частковий опис найчастіше використовується у вигляді лінійного полінома:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \cdot x_i \quad (4)$$

Така структура не дає ускладнення моделі та виключає використання нелінійних описів, які базуються на експериментальних даних.

Наукова новизна та практична значимість

У прикладних задачах та експериментальних дослідженнях в термодинаміці та тепломасообміні використовуються нелінійні функції безрозмірних параметрів. Наприклад [5], де розраховується опір тертя та тепловіддачі при обтіканні криволінійного профілю. Наведений приклад обтікання профілю лопатки газової турбіни. Регулюючою величиною є безрозмірне число Pr (Прандтля), яке характеризує співвідношення між інтенсивністю молекулярного переносу кількості руху та переносу теплоти теплопровідністю. Тому для ламінарної течії пограничного слою по всьому профілю (при цьому число $Pr > 0.5$), маємо наступне характерне рівняння:

$$Nu = 0.335Pr^{1/3} Re \left(\int_0^x \frac{w_0 dx}{\nu} \right)^{-0.5} \quad (5)$$

де: Nu – (число Нуссельта) є одним із основних критеріїв подоби у теплових процесах та характеризує співвідношення між інтенсивністю теплообміну за рахунок конвекції та теплопровідності;

Re – (число Рейнольдса) характеризує співвідношення між інерційними силами та силами в'язкості потоків в'язких живостей та газів;

x – координата, направлена уздовж обводу профілю, починаючи від точки розгалуження потоку;

w_0 – швидкість потоку;

ν – в'язкість рідини або газу.

Для ламінарної течії пограничного слою на передній частині профілю та перехідному режимі на задній частині, формула набуває вигляду:

$$Nu = 0,000038Pr^{1/3} Re \left[\int_{x_{кр1}}^x \frac{w_0 dx}{\gamma} + 0,047 \left(\frac{Re}{Nu} \right) \right]^{0,11} \quad (6)$$

де: $x_{кр1}$ – координата точки переходу потоку від ламінарного режиму до перехідного. Координати переходу від ламінарної течії до перехідного режиму визначаються по кривим, які наведені в джерелі.

Як видно із формул, безрозмірні критерії можуть виступати у якості величини яку знаходять, а також входить до складу цих величин.

Формули (5) та (6) можна уявити як “частковий опис”. У результаті експерименту, деякі параметри входять нелінійно, як то: 1/3 та 0,11. Через це на деяких рядах селекції потрібно буде визначати ці параметри.

“Часткові описи”, які потрібно знайти, можуть входити нелінійно.

Тому обґрунтованим буде використання безрозмірних параметрів в якості аргументів для еволюційного пошуку.

Загальна схема побудови алгоритмів самоорганізації моделей складних систем з використанням еволюційного пошуку рішень

Запропонована загальна схема алгоритму, яка представлена у стандартному вигляді блок-схеми на Рис. 1.

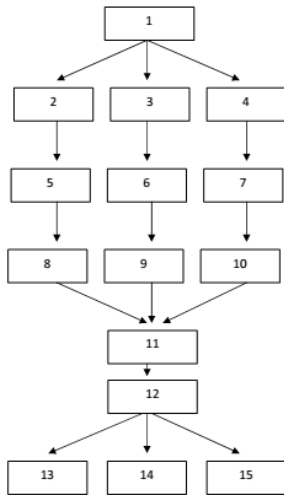


Рис.1. Загальна схема побудови алгоритмів самоорганізації моделей складних систем з використанням еволюційного пошуку рішень / General scheme of algorithms construction for self-organization models of complex systems using evolutionary search solution

Наведена схема алгоритмів самоорганізації роз'яснюється наступним чином:

- 1- 1-ий ряд селекції.
- 2- 3 загальної навчальної вибірки експерименту $X_{навч}$, будується таблиця експериментальних даних $X_{навч}^1$ аргументів $(x_1; x_2)$ і функція y_1 , які пов'язані через параметри $\{a_1^1; a_2^1; \dots; a_N^1\}$, і модель набуває вигляду:

$$y_1 = f(x_1, x_2) \quad (7)$$

- 3- 3 загальної навчальної вибірки експерименту $X_{навч}$, будується таблиця експериментальних даних $X_{навч}^2$ аргументів $(x_1; x_3)$ і функція y_2 , які пов'язані через параметри $\{a_1^2; a_2^2; \dots; a_N^2\}$, і модель набуває вигляду:

$$y_2 = f(x_1, x_3) \quad (8)$$

- 4- 3 загальної навчальної вибірки експерименту $X_{навч}$, будується таблиця експериментальних даних $X_{навч}^S$ аргументів $(x_{n-1}; x_n)$ і функція y_s , які пов'язані через параметри $\{a_1^S; a_2^S; \dots; a_N^S\}$, і модель набуває вигляду:

$$y_s = f(x_{n-1}, x_n) \quad (9)$$

- 5- Еволюційний пошук параметрів моделі $\{a_1^1; a_2^1; \dots; a_N^1\}$ на множині $X_{об}^1$ за критерієм S_1 , який може мати вигляд, наприклад:

$$S_1 = \frac{1}{n_{навч}} \sum_{i=1}^{n_{навч}} (y_i - y_i^*)^2 \quad (10)$$

де: $n_{навч}$ – кількість експериментальних точок навчальної послідовності;

y_i – значення прогнозу в i -тій точці;

y_i^* – дійсне значення у тій же точці.

- 6- Еволюційний пошук параметрів моделі $\{a_1^2; a_2^2; \dots; a_N^2\}$ на множині $X_{об}^2$ за критерієм S_1 .

- 7- Еволюційний пошук параметрів моделі $\{a_1^S; a_2^S; \dots; a_N^S\}$ на множині $X_{об}^S$ за критерієм S_1 .

- 8- Розрахунок критерію S_2 на множині $X_{пер}$, який може мати вигляд:

$$S_1 = \frac{1}{n_{пер}} \sum_{i=1}^{n_{пер}} (y_i - y_i^*)^2 \quad (11)$$

де: $n_{пер}$ – кількість експериментальних точок перевірконої послідовності;

- 9- Розрахунок критерію S_2 на множині $X_{пер}$;

- 10- Розрахунок критерію S_2 на множині $X_{пер}$;

- 11- Відбір "р" кращих моделей за критерієм S_2 ;

- 12- 2-ий ряд селекції;

13, 14, 15 – 3 загальної навчальної вибірки експерименту $X_{навч}$, будується таблиця експериментальних даних $X_{навч}^1$ аргументів $(y_1; y_2)$ і функція z_1 .

Нижче на Рис. 2 представлена блок-схема еволюційного пошуку параметрів, згідно [6], у більш детальному вигляді:

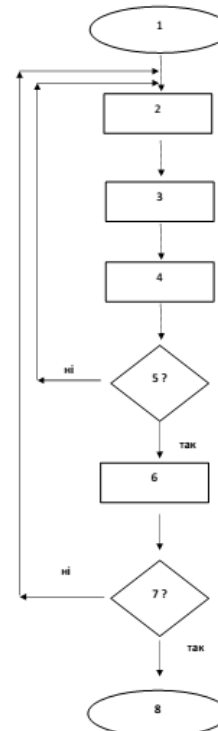


Рис.2. Блок-схема еволюційного пошуку параметрів / Block diagram of evolutionary search parameters

Згідно вище наведеної блок схеми:

1 – початок;

2 – генерація N_0 рішень для однієї гілки;

3 – розрахунок цільових функцій. При цьому, якщо виконується мінімізація функції $f(x)$, то у цьому блоці розраховуються функції $f_j=f(x_j)$ для $j=1, N_e$;

4 – відбір N_L кращих рішень, тобто із числа N_e рішень відбираються кращі рішення у кількості N_L ;

5 – змодельовані всі N_B гілок? Якщо “ні”, то розпочинається генерація N_e рішень для іншої гілки;

6 – розрахунок параметрів регулювання випадковим пошуком;

7 – досягнута задана точність? Якщо “ні”, то алгоритм повертається до генерації N_e рішень іншої гілки. При цьому у розрахунок включається математичне очікування:

$$x_0^i = \sum_{j=1}^{N_0} \sum_{i=1}^{N_1} x_{ij}^i / (N_0 N_1) \quad (12)$$

та математична дисперсія:

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^{N_0} \sum_{i=1}^{N_1} (x_{ij}^i - x_0^i)^2 / (N_0 N_1 - 1) \quad (13)$$

8 – завершення.

Згідно [4] нижче приведено роз’яснення до блок-схеми еволюційного пошуку параметрів.

Ведеться пошук рішення $x_0 \in \Omega$ із елементів $x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$, таких, що $\forall x \in \Omega, x_0 R_S x$, де R_S – відоме бінарне відношення вибору, яке є відношенням нестрогого порядку. Еволюційний пошук має вигляд:

$$X_{ik} = S(G(X_{ik-1})) \quad (14)$$

$$j = \overline{1, N_B}, k=1, 2, \dots$$

де: $S(X)$ – функція вибору, яка має вигляд:

$$S(X) = \{x \in X | \forall y \in [X \setminus S(X)], x R_S y\} \quad (15)$$

Функція генерації має вигляд:

$$G(X) = X \cup G_H(X) \quad (16)$$

де:

$$G_H(X) = \{y \in \Omega | \exists x \in X, y R_G x, \mu_{R_G}(x, y) > 0\} \quad (17)$$

де: R_G – відоме нечітке відношення (генерації) з функцією приналежності

$$\mu_{R_G}(x, y) : \Omega \times \Omega \rightarrow [0, 1] \quad (18)$$

Ствердження. Якщо $R_S^+(x)$ – верхні перетини по відношенню вибору R_S мають властивість $\forall x \neq x_0$:

$$mes R_S^+(x) > 0 \quad (19)$$

а функція генерації така, що якщо $x_H \in G_H(X)$, то $\forall x \neq x_0$,

$$P\{x_H \in R_S^+(x)\} \geq \delta > 0 \quad (20)$$

то яке б не було $x \in \Omega, x \neq x_0$, знайдеться такий номер K , що для усіх $k \geq K$ та для усіх гілок пошуку $j = \overline{1, N_B}$ з ймовірністю 1 буде виконуватися вимога $x_{jk} \subset R_S^+(x)$, що доводить збіжність ітераційного процесу (17) з ймовірністю 1 до R_S – оптимального рішення для усіх гілок пошуку $j = \overline{1, N_B}$.

Вказані властивості еволюційного алгоритму дають можливість широкого пошуку часткових описів, незважаючи на можливість входження параметрів, які шукаються, та багато екстремальність функцій відбору.

Розроблені схеми еволюційних алгоритмів використовувалися для рішення практичних задач, у тому числі при рішення задач ідентифікації теплофізичних параметрів приміщень для управління системою опалення.

Висновок

Запропонована загальна схема алгоритмів самоорганізації для отримання моделі об’єкта по експериментальним даним, яка використовує еволюційний алгоритм для пошуку параметрів “часткових описів”. При цьому допускається, що параметри можуть входити нелінійно в моделі “часткових описів”. Еволюційний алгоритм представлений як пошук найбільш привабливих (R -оптимальних) рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Букатова, Л. Л. Эвоинформатика : Теория и практика эволюционного моделирования / Л. Л. Букатова, Ю. И. Михасов, А. М. Шаров. – Москва : Наука, 1991. – 203 с.
Bukatova L.L., Mikhosov Y.I., Sharov A.M. *Evoinformatika: Teoriya i praktika evolutsiionnogo modelirovaniya* [Evoinformatics : Theory and practice of evolutionary modeling]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 203 p.

2. Ивахненко, А. Г. Принятие решений на основе самоорганизации / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Зайченко, В. Д. Димитров. – Москва : Советское радио, 1976. – 277 с.
Ivahnenko A.G., Zaychenko Yu.P., Dimitrov V.D. *Prinyatie resheniy na osnove samoorganizatsii* [Adoption of decision based on self-organization]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1976. 277 p.

3. Ивахненко, А. Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – Киев: Наукова думка, 1982. – 293 с.

Ivakhnenko A.G. *Inductivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem* [The inductive method of self-organization models of complex systems]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1982. 293 p.

4. Иродов, В. Ф. О построении и сходимости алгоритмов самоорганизации случайного поиска / В. Ф. Иродов // Автоматика. – 1987. – № 4. – С. 34-43.

Irodov V.F. O postroenii i skhodimosti algoritmov samoorganizatsii sluchaynogo poiska [The construction and convergence of random search algorithms for self-organization]. *Avtomatika – Automation*, 1987, issue 4, pp. 34-43.

5. Кутателадзе, С. С. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе. – 4-е изд., дополн. – Новосибирск : Наука, 1970. – 658 с.

Kutateladze S.S. *Spravochnik po teploperedache* [Handbook of heat transfer]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1970. 658 p.

6. Irodov, V. F. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations / V. F. Irodov // *System analysis modeling simulation*. – 1995. – Vol. 18-19. – pp. 203-206.

Irodov V.F. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations / *System analysis modeling simulation*, 1995, vol. 18-19, pp. 203-206.

7. Farlow, S. J. Self-organizing methods in modeling / S. J. Farlow // *Statistics : Textbook and monographs*. – 1984. – Vol. 54. – pp. 45.

Farlow S. J. Self-organizing methods in modeling. *Statistics : Textbook and monographs*, 1984, vol. 54, pp. 45.

8. Frank, L. Self-organization modeling for decision support / L. Frank // *International conference in inductive modeling ICIM'2013 / Knowledge miner software*. – Berlin, 2013. – pp. 172-178.

Frank L. Self-organization modeling for decision support. *International conference in inductive modeling ICIM'2013*. [Knowledge Miner Software]. Berlin, 172-178 p.

9. Godfrey, C. O. Design of hybrid differential evolution and group method of data handling for inductive modeling / C. O. Godfrey // *Information science*. – Fiji, 2011. – Vol. 178, issue 18. – pp. 87.

Godfrey C.O. Design of hybrid differential evolution and group method of data handling for inductive modeling. *Information science*, 2011, vol. 178, no. 18, pp. 87.

10. Mueller, J. A. Self-organization data mining. An intelligent approach to extract knowledge from data / J. A. Mueller, F. Lemke. – Berlin, 1999. – 225 p.

Mueller J. A., Lemke F. *Self-organization data mining. An intelligent approach to extract knowledge from data*. Berlin, 1999. 225 p.

11. Madala, H. R. Inductive learning algorithms for complex systems modelling / H. R. Madala, A. G. Ivakhnenko. – London : CRC Press Inc. Boca Raton, 1994. – 250 p.

Madala H.R., Ivakhnenko A.G. *Inductive learning algorithms for complex systems modelling*. London, CRC Press Inc. Boca Raton. Ann Arbor Publ., 1994. 250 p.

12. Wasniowski, R. A. Using self-organization networks for intrusion detection / A. R. Wasniowski // *Proceedings of the 6th WSEAS int. conf. of Neural Networks*. – Lisbon, 2005. – pp. 90-94.

Wasniowski R.A. Using self-organization networks for intrusion detection. *Proceedings of the 6th WSEAS int. conf. of Neural Networks*. Lisbon, 2005, pp. 90-94.

13. Russel, I. Neural networks module / I. Russel. – Hartford, 2012. – 115 p.

Russel I. *Neural networks module*. Hartford, 2012. 115 p.

14. Turki, Y. A. Financial prediction using inductive models / A. Y. Turki, A. Y. Abdulkareem, D. A. Lamy // *Basrah Journal of science*. – 2013. – Vol. 31 (2). – pp. 64-72.

Turki Y.A., Abdulkareem A.Y., Lamy D.A. *Financial prediction using inductive models*. Basrah Journal of science, 2013, vol. 31 (2), pp. 64-72

15. Yasmeeen, M. Z. System identification using group method of data handling / M. Z. Yasmeeen. – Sharjah, 2009. – 87 p.

Yasmeeen M.Z. *System identification using group method of data handling*. Sharjah, 2009. 87 p.

16. Vikas, L. An adapted group method of data handling for abrupt data analysis / L. Vikas, L. Sanita // *International journal of engineering and computer science* ISSN : 2319-7242. – Jaipur, 2014. – Vol. 3, № 2. – pp. 3842-3851.

Vikas L., Sanita L. An adapted group method of data handling for abrupt data analysis. *International journal of engineering and computer science* ISSN:2319-7242, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 3842-3851.