

УДК 004.9+504.064.3

С.В. Голуб, А.Ю. Дяченко

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ БАГАТОРІВНЕВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

Виконується завдання визначення експлуатаційних характеристик індуктивних моделей, зокрема їх меж придатності, як елементів структури автоматизованих систем багаторівневого перетворення моніторингової інформації. Запропоновано метод визначення меж придатності моделей. Експериментально підтверджено ефективність використання описаного методу.

**Ключові слова:** інформаційна система, моніторинг, модель, генетичний алгоритм.

### Вступ

Автоматизовані системи багаторівневого перетворення моніторингової інформації використовуються з метою забезпечення процесу прийняття управлінських рішень в різних предметних областях, зокрема в соціоекології [1]. Технологія багаторівневого моніторингу реалізується у вигляді інформаційної системи, структура якої формується шляхом ієрархічного поєднання індуктивних моделей [2] об'єктів моніторингу [3]. Моделі об'єктів одного рівня моніторингу поєднуються в страти.

Стратифікація структури системи дозволяє застосувати теорію ієрархічних багаторівневих систем [4] при проектуванні складних систем даного типу. Розв'язання проблеми координації елементів структури складної системи тісно пов'язано із оцінкою меж їх придатності. Мова йде про визначення діапазону коректного застосування синтезованих моделей.

Складна структура багатопараметричних індуктивних моделей не дозволяє ефективно використати існуючі методи оптимізації для оцінки діапазону зміни параметрів моделювання, при яких модель адекватно описує властивості об'єкта моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час визначення діапазону врівноваженості моделі проводиться за діапазоном зміни значень параметрів первинного опису (ПО) об'єкта. Вважається, що врівноваженість моделі забезпечується за умови, що значення параметрів моделювання знаходиться в межах діапазону ПО, на основі яких був проведений синтез цієї моделі. Залишаються невиявленими можливості моделей при значеннях параметрів, які знаходяться поза межами діапазону ПО.

При моделюванні поведінки систем індуктивними методами в станах, які не були враховані в ПО, складно, а часом і неможливо, зафіксувати властивості функціональної залежності вихідних параметрів від вхідних величин, ще складніше навести аналітичний опис такої залежності [5]. Ця обставина значно ускладнює застосування класичних методів оптимізації, оскільки більшість із них базується на використанні апріорної інформації про характер поведінки

цільової функції, а задача визначення приналежності функції до того чи іншого класу складніша за початкову задачу [6]. В зв'язку з цим постає задача побудови таких методів оптимізації, які були б здатні відшукувати розв'язок практично при повній відсутності інформації про характер функції [7]. Одним із таких методів є еволюційні методи пошуку, що моделюють процеси природної еволюції.

**Метою статті** є розробка нового методу оцінки діапазону придатності індуктивних моделей на основі еволюційних алгоритмів.

Для досягнення мети був формалізований процес виявлення діапазону врівноваженості індуктивної моделі та визначені основні етапи цього процесу, розроблена об'єктно-орієнтована програмна модель та відповідне програмне забезпечення, проведені експериментальні дослідження можливості застосування даного методу для визначення діапазону врівноваженості моделей складних систем. На основі аналізу отриманих результатів визначені раціональні коефіцієнти цільової функції й оптимальні параметри застосування генетичних операторів.

**Постановка завдання.** Розглядається неперервна багатопараметрична задача оптимізації у вигляді:

$$F^* = F(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad \max_{a_1 \leq x_1 \leq b_1, \dots, a_n \leq x_n \leq b_n} F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$F^* = F(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad \min_{a_1 \leq x_1 \leq b_1, \dots, a_n \leq x_n \leq b_n} F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

де  $F$  — цільова функція, яка характеризує поведінку системи;  $x_i$  — параметри (атрибути) моделі;  $a_i$  та  $b_i$  — відповідно мінімальне та максимальне значення параметрів з первинного опису об'єкта моделювання.

Визначення діапазону врівноваженості проводилось шляхом визначення за генетичним алгоритмом значень параметрів моделювання  $x_i$ , які забезпечують екстремуми значень цільової функції. При цьому генами особин виступають параметри моделі.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Визначення діапазону врівноваженості індуктивної моделі виконується в такій послідовності:

1. Встановлення параметрів еволюції в залежності від специфіки задачі і типу індуктивної моделі. При виборі параметрів еволюції доцільно враховувати особливості алгоритмів випадкового пошуку, які систематизовані в роботі [8].

2. Ініціалізації початкової популяції  $P(0)$ . Значення генів початкової популяції вибираються випадково з діапазону визначення параметрів моделі.

3. Оцінка розв'язків початкової популяцію. Оскільки в якості цільової функції виступає індуктивна модель, то оцінка здійснюється шляхом підстановки значень генів відповідної особини у вхідні змінні моделі з наступним прогнозуванням.

4. Селекція особин, тобто відбирається певна кількість особин, значення оціночної функції яких максимально наближені до оптимуму. Кількість особин для відбору задається як один з параметрів алгоритму.

5. Реплікація особин наступного покоління. Реплікація необхідна в зв'язку з тим, що особливості роботи механізму селекції призводять до можливості виникнення ситуації, коли особини батьківського покоління є ближчими до оптимуму ніж особини-нащадки. Тому при здійсненні селекції особин-нащадків доцільно залучати особини-моделі з покоління батьків.

6. Варіація (або схрещування особин). При схрещуванні значення генів особин-нащадків обчислюються як середнє арифметичне між значеннями генів особин батьківського покоління. Надзвичайно важливим моментом на даному кроці є додавання певної кількості «особин-мутантів», значення генів яких вибираються за тим же алгоритмом, що і початкова популяція. Певна кількість «мутантів» необхідна, оскільки оптимум може бути поза межами діапазону, що досліджуються на даному кроці. Кількість особин мутантів задається параметром алгоритму.

7. Оцінка розв'язків-нащадків.

8. Створення нової популяції.

9. Виконання алгоритму до досягнення параметром  $t$  заданного значення  $t_{\max}$ , тобто кількості кроків селекції.

10. Вибір особини з оцінкою розв'язку, що максимально наближена до оптимуму.

11. Вказана послідовність дій виконується двічі, окремо для знаходження мінімуму та максимуму.

Запропонована методика визначення діапазону врівноваженості застосована до індуктивних моделей, що побудовані за наступними алгоритмами:

1) МГУА [2];

2) Степаненка [9];

3) нейронні мережі [10];

4) генетичними (в яких генетичний алгоритм використовується для формування аналітичного опису системи) [11]

5) багаторівневі [11];

б) для всіх інших методів індуктивного моделювання, в яких визначення приналежності функції до того чи іншого класу неможливе або недоцільне.

Для оцінки ефективності запропонованого методу був проведений модельний експеримент. Первинний опис сформований на основі даних, представлених в [12]. Об'єктом моделювання є залежність валового внутрішнього продукту Німеччини за період з 1960 по 1989 роки від параметрів, поданих в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики параметрів моделювання

| Параметр   | Діапазон зміни характеристики |
|--|-------------------------------|
| Кількість населення (Inhabitants)                          | 55,43... 62,07                |
| Рівень зарплати на людину (Gross Wages per Employee)       | 510... 3299,92                |
| Непрацюючого населення (Unemployed Persons)                | 2,46... 37,78                 |
| Кількість вакансій (Employment Vacancies)                  | 1,23... 13,02                 |
| Кількість працюючого населення (Employed Persons)          | 421,83...465,38               |
| Заощадження (Savings)                                      | 0,95... 12,67                 |
| Обіг готівки (Cash Circulation)                            | 0,35... 2,41                  |
| Рівень споживання на душу населення (Personal Consumption) | 3,08... 19,04                 |
| Споживання (State Consumption)                             | 0,72... 6,91                  |
| Інвестиції (Investments)                                   | 1,49... 7,41                  |
| Співвідношення експорту та імпорту (Exports/Imports)       | 0,07... 1,88                  |
| Видано кредитів (Credits)                                  | 0,83... 18,34                 |

Для синтезу моделі використаний багаторядний алгоритм МГУА [2]. Модель у вигляді дерева поліномів отримали на десятому ряді селекції.

Адекватність моделі оцінювалась за середнім квадратичним відхиленням (СКВ) результатів моделювання від експериментальних значень цільової функції на екзаменаційній послідовності ПО як

$$S_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{\text{експ}} - y_i^{\text{розрах}})^2 / n} \quad (3),$$

де  $y_i^{\text{експ}}$  — експериментальне значення цільової функції;  $y_i^{\text{розрах}}$  — розраховане значення цільової функції;  $n$  — кількість повідомлень первинного опису.

З матриці первинного опису [12] видно мінімальне значення цільової функції – 6,66, а максимальне – 32,58. Дослідивши індуктивну за описаним генетичний алгоритм отримуємо що діапазон врівноваженості для цільової функції в межах від 2,46 до 53,37 при діапазоні зміни значень параметрів моделювання, поданих в табл. 2.

Для перевірки коректності запропонованого підходу визначимо характеристики моделі на значеннях, які не використовувались в процесі її синтезу і належать визначеному діапазону врівноваженості. В табл. 3 подані результати випробувань моделі. СКВ результатів моделювання, розраховане за даними табл. 3, склало  $S_y = 0,513$ . Тобто в межах досліджуваного діапазону зміни характеристик параметрів якісних змін властивостей моделі не відбувається.

Таблиця 2  
Характеристики умов врівноваженості моделі

| Параметр                       | Мінім. знач. | Макс. знач. |
|--------------------------------|--------------|-------------|
| Кількість населення            | 48,3         | 64,7        |
| Рівень зарплати на людину      | 425,0        | 3250,7      |
| Непрацюючого населення         | 2,1          | 30,8        |
| Кількість вакансій             | 1,0          | 12,5        |
| Кількість працюючого населення | 378,8        | 459,3       |
| Заощадження                    | 0,8          | 13,6        |
| Обіг готівки                   | 0,8          | 1,7         |
| Рівень спож. на душу населення | 7,6          | 22,9        |
| Споживання                     | 4,7          | 2,7         |
| Інвестиції                     | 3,1          | 3,4         |
| Співвідн. експорту та імпорту  | 0,4          | 0,8         |
| Видано кредитів                | 4,6          | 7,7         |

Таблиця 3  
Результати випробувань моделі  
в межах врівноваженості

| Дійсне значення | Розраховане значення |
|-----------------|----------------------|
| 5,45            | 5,60                 |
| 5,89            | 5,97                 |
| 6,33            | 6,45                 |
| 32,58           | 33,24                |
| 33,89           | 34,68                |
| 35,17           | 35,86                |

### Висновки

Таким чином експериментально підтверджено коректність використання генетичних алгоритмів для визначення діапазону врівноваженості індуктивних моделей. Розроблені й досліджені проблемно-орієнтовані оператори генетичного алгоритму: цільова функція, оператори схрещування й мутації, метод кодування задачі в хромосомі. Використання розроблених операторів схрещування й мутації призводить до визначення діапазону врівноваженості з високою достовірністю і скороченню на порядок обчислювальних витрат в порівнянні з методами перебору.

Подальші дослідження доцільно проводити з метою виявлення оптимальних для певного класу задач наборів початкових параметрів генетичного

алгоритму та розробки нових алгоритмів обчислення генів при схрещуванні особин.

### Список літератури

1. Голуб С.В. *Методологія створення автоматизованих систем багаторівневого соціоекологічного моделювання* / С.В. Голуб // Автореферат дисертації на здобуття ступеня д-ра техн. наук. – Черкаси: ЧНУ. – 2008. – 36 с.
2. Ивахненко А.Г. *Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем* / А.Г. Ивахненко. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с.
3. Голуб С.В. *Застосування агрегатного підходу до моделювання структури інформаційних технологій соціо-екологічного моніторингу* / С.В. Голуб // Вісник інженерної академії України. – 2007. – № 3-4. – С. 93-97.
4. Месарович М. *Теория иерархических многоуровневых систем* / М. Месарович, Д. Мако, И. Тахакара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
5. Батищев Д.И. *Глобальная оптимизация с помощью эволюционно - генетических алгоритмов* / Д.И. Батищев, Л.Н. Скидкина, Н.В. Трапезникова // Меужвуз. сборник, ВГТУ, Воронеж, 1994. – С. 43-48.
6. Батищев Д.И. *Генетический алгоритм для решения задач невыпуклой оптимизации* / Д.И. Батищев, П.А. Гуляева, С.А. Исаев // Тез. докл. Междунар. конф. "Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе". – Гурзуф, 1997. – С. 18-24.
7. Еремеев А.В. *Розробка й аналіз генетичних і гібридних алгоритмів для рішення задач дискретної оптимізації*. Автореферат дисертації на здобуття ступеня канд. фіз.-мат. наук. – Омськ: Вид-во ОТУ. – 2000. – 38 с.
8. Растринин Л.А. *Системы экстремального управления* / Л.А. Растринин. – М.: Наука, 1974. – 632 с.
9. Голуб С.В. *Моделювання об'єктів моніторингу доквілля за алгоритмом Степаненка* / С.В. Голуб // Електроніка та системи управління. – 2006. – № 4(10). – С. 165-168.
10. Руденко О.Г. *Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник* / О.Г. Руденко, С.В. Бодяньський. – Х: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.
11. Голуб С.В. *Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища* / С.В. Голуб. – Черкаси: ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2007. – 220 с.
12. Сайт [ics.uci.edu](http://www.ics.uci.edu) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: <http://www.ics.uci.edu/index.html>.

Надійшла до редколегії 16.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Рудницький, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

С.В. Голуб, А.Ю. Дяченко

Решается задача определения эксплуатационных характеристик индуктивных моделей, в частности их границ пригодности, как элементов структуры автоматизированных систем многоуровневого преобразования мониторинговой информации. Предложен метод определения границ пригодности моделей. Экспериментально подтверждена эффективность описанного метода.

**Ключевые слова:** информационная система, мониторинг, модель, генетический алгоритм.

### OPERATING DESCRIPTIONS OF ELEMENTS OF STRUCTURE OF THE AUTOMATED SYSTEMS OF MULTILEVEL TRANSFORMATION OF INFORMATION

S.V. Jolub, A.U. Diachenco

The task of determination of operating descriptions of inductive models decides, in particular their scopes of fitness, as elements of structure of the automated systems of multilevel transformation of monitoring information. The method of determination of scopes of fitness of models is offered. Efficiency of the described method is experimentally confirmed.

**Keywords:** informative system, monitoring, model, genetic algorithm.