

**ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТІВ
З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ**

А. В. Веремчук, А. В. Пукас, І. Ф. Войтюк

Тернопільський національний економічний університет

E-mail: a.veremchuk@tneu.edu.ua, apu@tneu.edu.ua, i.voytyuk@tneu.edu.ua

Подано структуру програмної системи для макромодельовання об'єктів з розподіленими параметрами на основі інтервальних різницевих операторів. Розроблено проект системи, що забезпечує інтегрування методів структурної та параметричної ідентифікації (методи побудовані на результатах дослідження поведінки бджолиної колонії, генетичних алгоритмах, штучних нейронних мережах з використанням радіально-базисних функцій, випадкового пошуку зі застосуванням напрямного конуса) в єдиний комплекс.

Ключові слова: *розподілені параметри, математична макромодель, інтервальний різницевий оператор, методи ідентифікації, програмне забезпечення.*

**DESIGN OF THE SOFTWARE FOR IDENTIFICATION OF THE INTERVAL
MODELS OF OBJECTS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS**

A. V. Veremchuk, A. V. Pukas, I. F. Voytyuk

Ternopil National Economic University

The design of structure and interface of a software system for macromodelling complex objects with distributed parameters, based on interval difference operator (IDO) are described. The developed software provides integration of the methods of structure identification (Artificial Bee Colony and genetic algorithms) and parameter identification (method based on artificial neural networks with radial basis functions and the method of random search using director cone method) to a single set. It makes it possible to simplify the macromodelling process. In particular researcher can determine different parameters of methods and build IDO using a single software. Another advantage of the proposed software is the possibility to compare the obtained results with previously stored ones and make some decision about suitability of used methods of identification for researching an object with distributed parameters. Only the design stage of the software development of the life cycle is described. Next task for research will be to develop and test the software system.

Keywords: *complex object, distributed parameters, macromodel, interval difference operator, methods of identification, software system.*

Сьогодні існує багато складних об'єктів та процесів, для моделювання яких необхідні математичні макромоделі у вигляді інтервальних різницевих операторів (ІРО), зокрема, поширення шкідливих викидів автотранспорту в приземистому шарі атмосфери [1], виявлення зворотного гортанного нерва під час хірургічної операції на щитовидній залозі [2], прогнозування розподілу вологості на поверхні листа гіпсокартону під час його виготовлення [3–5], визначення родючості ґрунтів за їх електропровідністю [6], управління технологічним процесом виробництва біогазу [7, 8] тощо. Для побудови таких ІРО слід виконати їх структурну та параметричну ідентифікацію. Для цього розроблено низку методів [1–5]. Проте програмно їх реалізували у вигляді окремих модулів у різних середовищах розробки програмного забезпечення, зокрема Visual Studio, MathCad, MATLAB тощо, що не пов'язані між собою. В результаті досліднику важко вибрати і знайти потрібний програмний додаток, щоб побудувати математичну модель об'єкта з розподіленими параметрами в умовах невизначеності. З іншого боку, щоб налаштувати програмну реалізацію кожного з наведених методів для розв'язування

© А. В. Веремчук, А. В. Пукас, І. Ф. Войтюк, 2016

прикладної задачі, дослідник має володіти навиками програмування на різних мовах, що не завжди доцільно. Тому не вдається порівняти результати моделювання, щоб визначити адекватніший метод ідентифікації моделей. Для цього потрібно створити програмний комплекс, що інтегрує різні реалізації вказаних методів ідентифікації ІРО з можливістю використати попередні результати моделювання.

Процес створення програмного забезпечення згідно з життєвим циклом розробки програмного забезпечення [9] та за умов чіткої попередньої визначеності системних вимог [10] передбачає послідовне виконання етапів, зокрема проектування, реалізацію, тестування та супровід.

Мета цієї праці – створити проект програмного забезпечення для інтегрування та розширення засобів моделювання об'єктів з розподіленими параметрами на основі ІРО.

Макромодель у вигляді різницевого оператора. Для розуміння об'єкта дослідження та формування системних вимог до програмного забезпечення розглянемо особливості макромоделювання на основі ІРО.

Математичні макромоделі в описаних вище задачах побудовано за результатами експериментальних досліджень, коли присутні похибки вимірювань, тому найбільш природною є інтервальна форма подання даних, а обґрунтованим апаратом математичного моделювання вказаних процесів за умов невизначеності є макромоделі, які використовують для прийняття рішень [11].

Розглянемо лінійний за параметрами різницевий оператор у загальному вигляді:

$$v_{j+1,k+1} = \vec{g}^T \cdot \vec{f}(v_{0,0}, \dots, v_{0,k}, v_{1,0}, \dots, v_{1,k}, v_{j,0}, \dots, v_{j,k}, u_{0,0}, \dots, u_{j,k}),$$

$$k = 0, \dots, N-1, \quad j = 0, \dots, J-1, \quad (1)$$

де $\vec{f}(v_{0,0}, \dots, v_{0,k}, v_{1,0}, \dots, v_{1,k}, v_{j,0}, \dots, v_{j,k}, \vec{u}_{0,0}, \dots, \vec{u}_{j,k})$ – деяке нелінійне перетворення, вектор (розмірністю $m \times 1$) базисних функцій, що задає структуру різницевого оператора; $v_{j+1,k+1}$ – прогнозована характеристика в $j+1$ -ій точці простору в $k+1$ -ий момент часу; $\vec{u}_{j,k} = (u_{0,0}, \dots, u_{j,k})^T$ – відомий вектор (розмірністю $p \times 1$) вхідних змінних у j -ій точці простору в k -ий дискретний момент часу; \vec{g} – невідомий вектор (розмірністю $m \times 1$) параметрів різницевого оператора.

Для дослідження об'єкта з розподіленими параметрами j -ій точці простору відповідає дискретне значення координат x_j, y_j, z_j .

Щоб оцінити вектор параметрів \vec{g} різницевого оператора, використовують результати вимірювань в k -ий момент часу в j -ій точці простору:

$$\vec{v}_{j,k} = c_{j,k} \cdot v_{j,k} + e_{j,k}, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad j = 0, \dots, J-1, \quad (2)$$

де $\vec{v}_{j,k}$ – виміряне значення прогнозованої характеристики в j -ій точці простору в k -ий момент часу; $c_{j,k}$ – відомий коефіцієнт, який визначає особливості вимірювального пристрою. У формулі (2) приймаємо: $e_{j,k}$ – випадкові, обмежені за амплітудою, похибки

$$|e_{1,k}| = |e_{2,k}| = \dots = |e_{j,k}| = |e_k| \leq \Delta_k, \quad \Delta_k > 0 \quad \forall k = 0, \dots, N-1,$$

$$j = 0, \dots, J-1, \quad (3)$$

які загалом залежать від координат простору та часу вимірювань.

Після використання моделі вимірювань (1) та урахування обмеженості за амплітудою похибки (2) експериментальні дані набувають інтервального вигляду:

$$[v_{j,k}] = [v_{j,k}^-; v_{j,k}^+] = [(\tilde{v}_{j,k} - \Delta_k); (\tilde{v}_{j,k} + \Delta_k)] / c_{j,k},$$

$$k = 0, \dots, N-1, \quad j = 0, \dots, J-1, \quad (4)$$

де $[v_{j,k}^-; v_{j,k}^+]$ – гарантований інтервал із нижнім та верхнім значеннями вимірної величини. Зауважимо, що обчислення у виразі (4) виконували згідно з правилами інтервальної арифметики.

Невідомий вектор параметрів \vec{g} різницевого оператора оцінюємо за умовами включення прогнозованих значень у відповідний інтервал експериментальних даних. Ці умови матимуть вигляд

$$[\hat{v}_{j+1,k+1}] = [\hat{v}_{j+1,k+1}^-; \hat{v}_{j+1,k+1}^+] \subseteq [v_{j+1,k+1}] = [v_{j+1,k+1}^-; v_{j+1,k+1}^+],$$

$$k = 0, \dots, N-1, \quad j = 0, \dots, J-1. \quad (5)$$

Тоді $[\hat{v}_{j+1,k+1}] = [\hat{v}_{j+1,k+1}^-; \hat{v}_{j+1,k+1}^+]$ прогнозований інтервал розраховуємо за формулою

$$[\hat{v}_{j+1,k+1}] = \hat{g}^T \cdot \vec{f}([\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,k}], [\hat{v}_{1,0}], \dots, [\hat{v}_{1,k}], [\hat{v}_{j,0}], \dots, [\hat{v}_{j,k}], u_{0,0}, \dots, u_{j,k}), \quad k = 0, \dots, N-1, \quad j = 0, \dots, J-1, \quad (6)$$

де \hat{g} – вектор оцінок параметрів різницевого оператора, які отримують із умов включення (5), а $[\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,k}], [\hat{v}_{1,0}], \dots, [\hat{v}_{1,k}], [\hat{v}_{j,0}], \dots, [\hat{v}_{j,k}]$ – задані чи розраховані інтервальні оцінки початкових дискретних значень прогнозованої характеристики.

Оскільки для отримання інтервалу прогнозованої характеристики $[\hat{v}_{j+1,k+1}]$ за формулою різницевого оператора (5) необхідно обчислювати за правилами інтервальної арифметики, то такий оператор є інтервальним.

Підставляючи інтервальні оцінки $[\hat{v}_{j+1,k+1}]$, обчислені за формулою (6) за початкових наближень $[\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,k}], [\hat{v}_{1,0}], \dots, [\hat{v}_{1,k}], [\hat{v}_{j,0}], \dots, [\hat{v}_{j,k}]$, у виразі (5), отримаємо таку інтервальну систему алгебричних рівнянь:

$$v_{j+1,k+1}^- \leq \hat{g}^T \cdot \vec{f}([\hat{v}_{0,0}], \dots, [\hat{v}_{0,k}], [\hat{v}_{1,0}], \dots, [\hat{v}_{1,k}], [\hat{v}_{j,0}], \dots, [\hat{v}_{j,k}], \bar{u}_{0,0}, \dots, \bar{u}_{j,k}) \leq v_{j+1,k+1}^+,$$

$$k = 0, \dots, N-1, \quad j = 0, \dots, J-1. \quad (7)$$

Отже, задача ідентифікації параметрів інтервального лінійного різницевого оператора (6) за умов (5) полягає у розв'язуванні інтервальної системи нелінійних алгебричних рівнянь у вигляді (7), розв'язком якої є неопукла область оцінок параметрів інтервального лінійного різницевого оператора.

Задача структурної ідентифікації IPO полягає в знаходженні такої комбінації структурних елементів макромоделі, які адекватно описують об'єкт дослідження.

IPO схематично подано на рис. 1. Фактично макромодель (1) описує стаціонарні та нестаціонарні поля, об'єкти яких відносять до систем з розподіленими параметрами. Для їх моделювання здебільшого використовують диференціальні рівняння в частинних похідних, а для їх розв'язку – числові методи. Проте у цій праці побудували макромодель на основі експериментальних даних з розв'язуванням задач структурної чи параметричної ідентифікації.

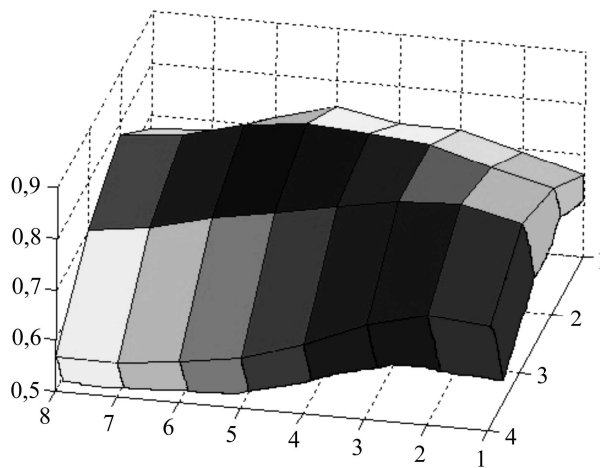


Рис. 1. Графічне подання IPO.

Структура програмної системи. Перший етап створення програмного забезпечення передбачає визначення вимог. За результатами виконаного аналізу створено діаграму варіантів використання (use-case) системи користувачем (рис. 2).

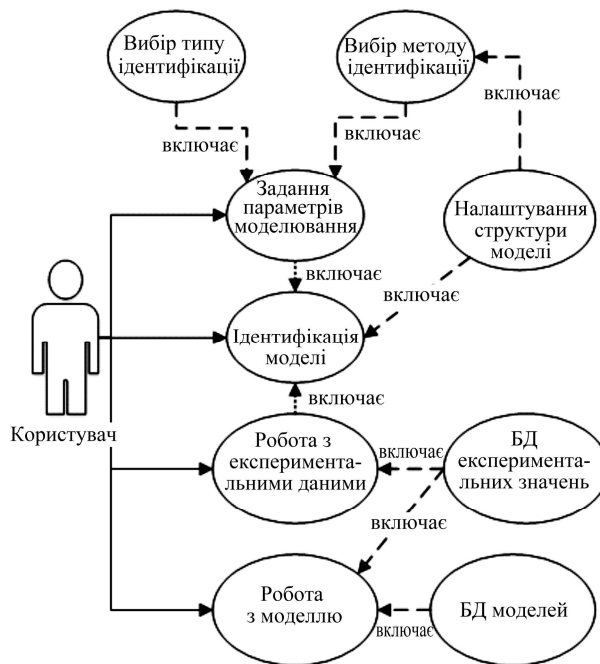


Рис. 2. Use-case діаграма.

Користувач має можливість вибрати тип ідентифікації залежно від задачі – параметрична чи структурна. Якщо він вибирає параметричну, то далі відбувається селекція між методом випадкового пошуку з використанням прямого конуса та методом, заснованим на апараті штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями.

На етапі проектування створили архітектуру програмного комплексу, що інтегрує засоби моделювання об'єктів з розподіленими параметрами (рис. 3).

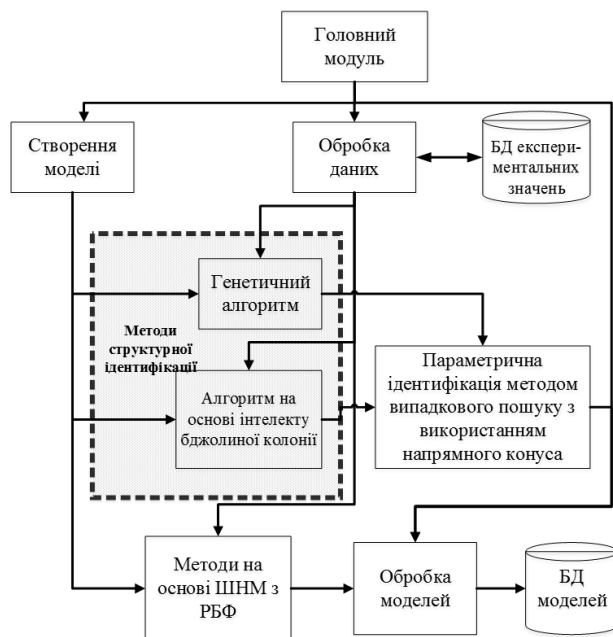


Рис. 3. Архітектура системи.

В архітектурі створюваного програмного комплексу (рис. 3) можна виділити декілька основних модулів: головний, побудова моделі, обробки даних, управління моделями та модулі для реалізації структурної та параметричної ідентифікації. Окрім основних компонентів, до програмної системи підключено два локальні сховища. Перше зберігає експериментальні дані, а друге – структури моделей.

Макет вікна розроблюваної програмної системи з реалізацією описаного функціоналу наведено на рис. 4.



Рис. 4. Макет вікна системи з реалізованим функціоналом.

Якщо обрано структурну ідентифікацію, користувач може вибрати метод, заснований на генетичних алгоритмах, чи метод бджолоїної колонії. Крім того, йому необхідно налаштувати структурні компоненти макромоделі, їх кількість, глибину IPO та кількість вимірів простору параметрів (рис. 5).

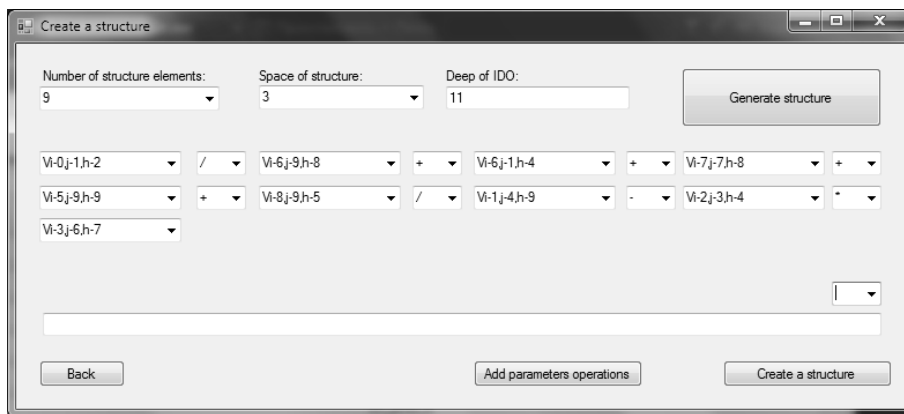


Рис. 5. Створення структури моделі.

Після натиснення на кнопку “Generate structure” буде згенеровано структурні компоненти. Далі користувачу потрібно обрати необхідні елементи зі згенерованої структури та операції над ними з випадного списку. Після натиснення на кнопку “Add parameters operations” відкривається вікно для створення та додавання до структури елементів управління.

Наступний крок – завантаження експериментальних даних. Користувач може їх ввести (рис. 6) або ж завантажити з бази даних експериментальних значень, яка буде реалізована за допомогою системи керування базами даних MySQL Server 2008.

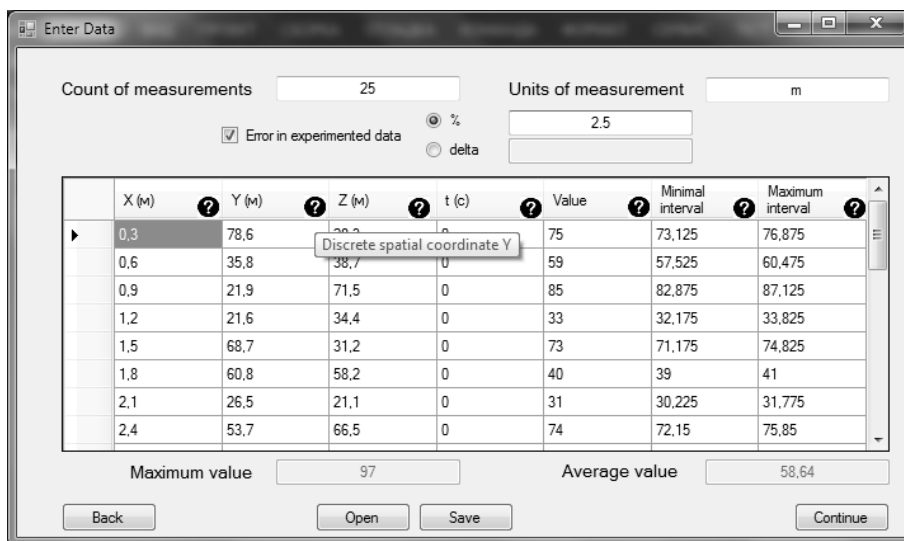


Рис. 6. Введення експериментальних даних.

Завершальний крок – побудова IPO за заданими параметрами. Після виконання проекту вказаної програмної системи, згідно з життєвим циклом створення програмних систем, необхідно її реалізувати та протестувати.

ВИСНОВОК

Наведено результати проектування програмного забезпечення для ідентифікації інтервальних моделей об’єктів з розподіленими параметрами. Це початковий етап створення програмної системи, згідно зі життєвим циклом розробки програмного забезпечення. Проект програмного забезпечення передбачає пара-

метричну (метод випадкового пошуку з використанням напрямного конуса та метод на основі штучних нейронних мереж з використанням радіально-базисних функцій) та структурну ідентифікацію (методи, засновані на поведінці бджолиної колонії та генетичних алгоритмах) в межах однієї програмної системи з можливістю оцінювати результати моделювання.

1. *Features of structure identification the macromodels for nonstationary fields of air pollutions from vehicles* / N. Ocheretnyuk, I. Voytyuk, M. Dyvak, Ye. Martsenyuk // Proc. of the 11th Int. Conf. "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science", TCSET'2012. – Lviv–Slavske, 2012. – P. 444.
2. *Porplytsya N., Dyvak M.* Interval difference operator for the task of identification recurrent laryngeal nerve // Proc. of the 16th Int. Conf. "Computational Problems of Electrical Engineering", CPEE'2015. – Lviv, 2015. – P. 156–158.
3. *Dyvak T.* Method of parametric identification of macro model in kind of interval difference operator based on data dividing // Proc. of the 11th Int. Conf. "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science", TCSET'2012. – Lviv–Slavske, 2012. – P. 62.
4. *Pukas A., Dyvak T.* Features of solving of the task of parameter identification of linear interval difference functional // Proc. of the 10th Int. Conf. "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science", TCSET'2010. – Lviv–Slavske, 2010. – P. 42.
5. *Structure identification of interval difference operator for control the production process of drywall* / N. Ocheretnyuk, M. Dyvak, T. Dyvak, I. Voytyuk // Proc. of the 12th Int. Conf. "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics", CADSM'2013. – Lviv–Polyana, 2013. – P. 262–264.
6. *Selection justification of the model for electrical conductivity of soils based on interval difference operator* / I. A. Madiudia, M. P. Dyvak, T. M. Dyvak, L. I. Gonchar // Proc. of the 13th Int. Conf. "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics", CADSM'2015. – Lviv–Polyana, 2015. – P. 106–108.
7. *Autonomous systems modification of Mono's differential equations to non-autonomous systems in the tasks of modeling processes problems at biogas plants* / I. Hural, M. Dyvak, Y. Pigovsky, V. Spilchuk // Proc. of the 13th Int. Conf. "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics", CADSM'2015. – Lviv–Polyana, 2015. – P. 93–96.
8. *Dekhtiar I., Dyvak T., Martsenyuk Y.* Features of biogas production process and methods of its modeling // Proc. of the 12th Int. Conf. "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics", CADSM'2013. – Lviv–Polyana, 2015. – P. 66–68.
9. *Соммервилл Иан.* Инженерия программного обеспечения / Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 624 с.
10. *Мацяшек Лешек А.* Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML / Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 428 с.
11. *Дивак М. П., Пукас А. В., Сапожник Г. В.* Оптимальна адаптивна процедура прийняття рішень на основі інтервальних моделей // Відбір і обробка інформації. – 2006. – № 24 (100). – С. 23–28.

Одержано 24.06.2016