

Пропонується в якості змінних, на підставі яких працює алгоритм, використовувати не просто дані про електропровідність ґрунту, а інтегральні змінні - головні компоненти [3].

У праці [1] було подано структуру математичної моделі (загальний вигляд), а проведенні дослідження, наведені у працях [2,3] будуть використовуватись у якості вхідних даних, оскільки вони відповідають вимогам до структури вигляду математичної моделі електропровідності. В особливості тому що, подані експериментальні дані описують поле електропровідності ґрунтів в межах заданої ділянки, а також те, що дослідження проводились в польових умовах, що якнайкраще показують вплив на електропровідність ґрунту інших управляючих чинників.

### **Висновки**

Проведено обґрунтування вибору стратегії вимірювання даних експериментальних досліджень для побудови математичної моделі електропровідності ґрунтів. Обрано дані, які були виміряні на основі алгоритму SRSS, стратегія вимірювання якого максимально підходить для поданої у праці [1] структури математичної моделі, оскільки дозволяє визначити місце розташування мінімальної кількості точок відбору ґрунтових проб на підставі інформації про просторову зміну величини електропровідності ґрунту.

### **Список використаних джерел**

1. Madiudia I., Dyvak M., Dyvak T., Gonchar L. Selection justification of the model for electrical conductivity of soils based on interval difference operator// Proceedings of XIII<sup>th</sup> International IEEE conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics», CADSM'2015, 24-27 February 2015, Lviv-Poljana, Ukraine. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. - P. 106-108.
2. Жуков А. В. Оптимальная стратегия отбора почвенных образцов на основании данных об электрической проводимости техноземов / А. В. Жуков, Г. А. Задорожная, Е. В. Андрусевич. // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого. – 2012. – №1. – С. 64–80.
3. Жуков А. В. Адаптивная стратегия отбора проб для оценки пространственной организации сообществ почвенных животных урбанизированных территорий на различных иерархических уровнях / А. В. Жуков, Ю. А. Балюк. // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого. – 2014. – №3. – С. 8–33.

УДК 519.876.5

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО «НАСИЧЕНОГО БЛОКУ» МЕТОДУ ЛОКАЛІЗАЦІЇ РОЗВ'ЯЗКІВ ІСЛАР**

**Олійник І.С.**

*Тернопільський національний економічний університет, аспірант*

### **І. Постановка проблеми**

При математичному моделюванні статичних систем вирізняють стохастичний підхід та інтервальний аналіз. При інтервальному підході до задачі побудови математичної моделі статичної системи, необхідно розв'язати інтервальну систему лінійних алгебраїчних рівнянь (ІСЛАР) [1].

Розв'язок ІСЛАР представляють у вигляді множини, оцінивши яку ми можемо побудувати інтервальну модель. Серед способів оцінювання параметрів детальніше розглянемо метод, що полягає у локалізації розв'язків ІСЛАР на основі вибору на початковому етапі певних базових рівнянь («насиченого блоку»), кількість яких співпадає із кількістю невідомих параметрів досліджуваної моделі [1].

Однак при великій розмірності ІСЛАР існуючий спосіб вибору базового блоку передбачає проведення великої кількості ітераційних процедур, що в свою чергу вимагає затрат часу. Тому доцільним є пошук інших способів вибору «насиченого блоку».

Метою дослідження є аналіз алгоритму методу локалізації розв'язків інтервальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь на основі її «насиченого блоку» та виявлення проблем вибору базових рівнянь для цього «насиченого блоку».

## II. Алгоритм методу локалізації розв'язків ІСЛАР на основі її «насиченого блоку»

Інтервальна система лінійних алгебраїчних рівнянь має вигляд (1):

$$\begin{cases} y_1^- \leq b_1 \varphi_1(\bar{x}_1) + \dots + b_m \varphi_m(\bar{x}_1) \leq y_1^+ \\ \vdots \\ y_i^- \leq b_1 \varphi_1(\bar{x}_i) + \dots + b_m \varphi_m(\bar{x}_i) \leq y_i^+ \\ \vdots \\ y_N^- \leq b_1 \varphi_1(\bar{x}_N) + \dots + b_m \varphi_m(\bar{x}_N) \leq y_N^+ \end{cases} \quad (1)$$

Розв'язком цієї ІСЛАР є область  $\Omega_m$ , що геометрично має вигляд паралелотопа. Вершини паралелотопа обчислюють за формулою (2):

$$\vec{b}_s = F_m^{-1} \cdot \vec{Y}_s \quad (2)$$

де  $F = \{\phi_j(\bar{x}_i), i=1, \dots, N, j=1, \dots, m\}$  - відома матриця значень базисних функцій,  $\vec{Y}_s$  - вектор, складений з межових значень інтервалів  $[y_i^-, y_i^+]$ .

Покроковий опис алгоритму локалізації детально описаний у праці [2]. Зокрема, на першому кроці формуємо матрицю  $F_m$ , де  $m$  - кількість невідомих параметрів моделі. Така задача є задачею планування  $I_D$  - оптимального експерименту (3):

$$\left( \prod_{i=1}^m (y_i^+ - y_i^-)^2 \right) \cdot \det(F_m \cdot F_m^T)^{-1} \xrightarrow{F_m} \min \quad (3)$$

На наступному кроці на підставі формул (4) та (5) обчислюємо функції  $L_s(k)$  ( $L'_s(k)$ ):

$$L_s(k) = y_{k+1}^- - \vec{\varphi}^T(\bar{x}_{k+1}) \cdot \vec{b}_s(k), \quad (4)$$

$$L'_s(k) = \vec{\varphi}^T(\bar{x}_{k+1}) \cdot \vec{b}_s(k) - y_{k+1}^+ = -L_s(k) - \Delta_{k+1}, \quad (5)$$

де  $\bar{x}_{k+1}$  - вектор вхідних значень у  $k+1$  спостереженні, що визначає  $k+1$  рівняння у системі (1);  $y_{k+1}^-$ ,  $y_{k+1}^+$  - нижня та верхня межі інтервалів "виходу" у  $k+1$  спостереженні;  $\Delta_{k+1} = y_{k+1}^+ - y_{k+1}^-$ .

На третьому кроці знаходимо  $L_s(k) = \max_{s=1, \dots, 2^m} L_s(k)$  ( $L'_s(k) = \max_{s=1, \dots, 2^m} L'_s(k)$ ).

На 4 кроці алгоритму обчислюємо межі інтервалу  $[y_i^-(k+1); y_i^+(k+1)]$  за формулами (6) та (7), відповідно.

$$y_i^+(k+1) = y_i^+(k) - \delta_i^+(k+1), \quad (6)$$

$$y_i^-(k+1) = y_i^-(k) + \delta_i^-(k+1). \quad (7)$$

На останньому кроці алгоритму перевіряємо, якщо  $k \leq N - m$ , то перехід на крок 2. У протилежному випадку завершуємо процедуру.

Результатом виконання обчислювальної процедури, згідно з описаним алгоритмом є допусковий многогранник  $\tilde{\Omega}_m$ , вершини якого визначаємо за формулою (8):

$$\vec{b}_s(k) = F_m^{-1} \cdot \vec{Y}_s(k = N - m) \quad (8).$$

Розглянемо детальніше перший крок даного алгоритму, де розв'язується задача планування  $I_D$  - оптимального експерименту (3). Згідно цієї задачі  $N$  - кількість спостережень експерименту та кількість рівнянь в ІСЛАР,  $m$  - кількість параметрів моделі та кількість базових рівнянь, що обирають для «насиченого блоку».

Згідно теорії планування експерименту [3] D-оптимальним називають такий експеримент, план якого відомий заздалегідь до його проведення.

Припустимо, що у нашому експерименті  $N=30$ ,  $m=4$ . Для розв'язання задачі (3) необхідно спочатку розв'язати задачу елементарної комбінаторики  $C_{30}^4 = \frac{30!}{(30-4)!4!} = \frac{30!}{26!4!} = 27405$ .

Звідси, для реалізації першого кроку досліджуваного алгоритму необхідно 27405 разів розв'язати задачу  $\left( \prod_{i=1}^m (y_i^+ - y_i^-)^2 \right) \cdot \det(F_m \cdot F_m^T)^{-1}$ , а у випадку  $N=50$ ,  $m=4$ , наприклад, цю операцію потрібно було б повторити 230300 разів.

У праці [4] пропонується знайдений допускний многогранник  $\tilde{\Omega}_m$  локалізувати еліпсоїдом, ширина коридору прогнозування якого:

$$[\hat{y}(\bar{x})]_{\bar{b} \in Q_m} = [\bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot \bar{b} - \frac{1}{2} \cdot \Delta_{\bar{y}(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m}; \bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot \bar{b} + \frac{1}{2} \cdot \Delta_{\bar{y}(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m}], \quad (9)$$

де  $\Delta_{\bar{y}(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m}$  – похибка прогнозування, що обчислюється за формулою:

$$\Delta_{\bar{y}(\bar{x})} \Big|_{\bar{b} \in Q_m} = \sqrt{\bar{\varphi}^T(\bar{x}) \cdot (F_m^T \cdot E \cdot F_m)^{-1} \cdot \bar{\varphi}(\bar{x})} \quad (10)$$

В цьому випадку пропонуємо провести послідовний  $I_G$ -оптимальний експеримент [5], основним критерієм якого є мінімізація максимальної ширини коридору прогнозування інтервальної моделі, отриманої на  $k$  кроці.

Таким чином, обчисливши значення мінімальної ширини коридору, ми зможемо визначити базові рівняння для оптимального «насиченого блоку», адже між ними існує відповідність (10).

### Висновок

У роботі досліджено алгоритм методу локалізації розв'язків інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь на основі її «насиченого блоку» та виявлено проблеми вибору базових рівнянь для цього методу. Запропоновано спосіб вибору оптимального «насиченого блоку», альтернативний існуючому.

### Список використаних джерел

1. Дивак М.П. Задачі математичного моделювання статичних систем з інтервальними даними: монографія / за ред. М. П. Дивака. – Тернопіль : Економічна думка, 2011. – 216 с.
2. Дивак М. П. Особливості програмної реалізації допускного оцінювання множини параметрів інтервальних моделей з виділенням насиченого блоку ІСЛАР/ Дивак М. П., Козак О. Л.// Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т.1, № 3 (93). – С. 140–146.
3. Федоров В. В. Теория оптимального эксперимента / В. В. Федоров. – М. : Наука, 1971. – 312 с.
4. Дивак М. П. Метод формування допускної еліпсоїдної оцінки параметрів інтервальних моделей на основі виділення із інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь основних активних обмежень / Дивак М. П., Козак О. Л. // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2009. – Т. 11, № 2. – С.25-36.
5. Дывак Н.П. Оптимальное планирование эксперимента в случае локализации области параметров интервальной модели // Кибернетика и вычислительная техника. - 2001. - Вып. 132. - С.39-47.

УДК 519.876.5

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ СТРУКТУРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ РІЗНИЦЕВИХ ОПЕРАТОРІВ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ БДЖОЛИНОЇ КОЛОНІЇ

Порплиця Н.П.<sup>1</sup>, Дивак Т.М.<sup>2</sup>

Тернопільський національний економічний університет

<sup>1</sup> аспірант, <sup>2</sup> к.т.н.

### І. Актуальність задачі

У ході розв'язання задач управління, вивчення та дослідження нових процесів та явищ найважливішим інструментом математичного моделювання є математична модель. Для синтезу математичної моделі об'єкта потрібно перш за все сформулювати структуру моделі (*етап структурної ідентифікації*), після цього провести процедуру налаштування її параметрів (*етап параметричної*