

13. Sowa A.: *Kompleksowa ochrona odgromowa i przepięciowa; COSIW SEP, Warszawa, 2005.* 14. Kolasa A., Strużewski P.: *Badania wpływu przerw bezprądowych w wielokrotnych wyladowaniach atmosferycznych na piorunową perforację metalowych pokryć dachów; Wiadomości Elektrotechniczne, No.7/ 1991, s.258.* 15. Prinz H.: *Gewitterelektrizität als Gefahr; Bulletin SEV, No.24/1976, S.1313.* 16. Szpor S., Samuła J.: *Ochrona odgromowa, tom I; WNT, Warszawa 1983.* 17. EN 62305-1:2006: *Protection against lightning – Part 1: General principles.* 18. PN EN 62305:2008: *Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne.*

УДК 621.3.011.72

П.Г. Стахів, Ю.П. Франко

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра ТЗЕ,  
Бучацький інститут менеджменту та аудиту,  
кафедра економічного і математичного моделювання

## СТРУКТУРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕРВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНУВАННЯ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (МГЕС)

© Стахів П.Г., Франко Ю.П., 2010

**Розглянуто задачу структурної ідентифікації інтервальної моделі характеристик функціонування малої гідроелектростанції (МГЕС). З метою розв’язання цієї задачі запропоновано використовувати методи інтервального аналізу.**

**This paper is devoted to the solving task of the structural identification of the interval model characteristics of the small hydroelectric power station functioning (SHEPS) has been considered. For solution of this task the interval data analysis methods are applied.**

### Вступ

Енергетична безпека країни є одним із основних пунктів стратегічного розвитку держави, особливо з врахуванням енергетичної кризи в Європі. Тому оптимальне використання електроенергетичної системи (ЕЕС) України є важливою умовою для забезпечення її енергетичної незалежності. Математичне моделювання на основі системного підходу є ефективним інструментом для дослідження ЕЕС, зокрема процесів споживання та генерування електроенергії. Важливим є перехід до нетрадиційних джерел енергоресурсів, а також раціональне використання усіх наявних ресурсів. Одним із альтернативних видів є гідроресурси. Україна має достатньо велику кількість малих річок, енергію яких з успіхом та без шкоди довкіллю можна було б використовувати для додаткового вироблення електроенергії. Тим більше, що у післявоєнні роки нагромаджено достатній досвід використання такого виду ресурсів. Зокрема у м. Бучачі, Тернопільської області на річці Стрипа у 1952 р. була введена в експлуатацію мала гідроелектростанція (МГЕС) "Топольки", яка на той час виробляла близько 100 кВт електроенергії. Частково відновлена і введена в експлуатацію навесні 2003 р. МГЕС функціонує і сьогодні. Проте подальше збільшення потужності МГЕС вимагає дослідження її характеристик генерування електроенергії, вивчення можливостей щодо забезпечення заданого графіка генерування потужності. Для розв’язування цієї задачі необхідно побудувати математичну модель прогнозування коридору генерованої електроенергії МГЕС залежно від факторів впливу.

### Постановка проблеми

Проведений аналіз зовнішніх факторів впливу показав [1], що зовнішнім середовищем для МГЕС є система постачання гідроресурсів, яка характеризується двома некорельованими між собою факторами: тиском води, тобто різницею рівнів верхнього і нижнього б'єфів, та рівнем води на гідропості у верху по течії р. Стрипа. З іншого боку, оскільки МГЕС функціонує в єдиній енергосистемі, то генерована електроенергія також визначається реактивною потужністю.

Для спрощення подальшого розгляду позначимо потужність генерованої електроенергії за  $y$ , а набір факторів, що впливають на цю характеристику  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$ , де  $x_1$  – реактивна потужність;  $x_2$  – тиск (різниця відміток верхнього і нижнього б'єфів;  $x_3$  – рівень води на гідропості у верху по течії р. Стрипа.

Тоді задачу знаходження моделі прогнозованої генерованої електроенергії МГЕС залежно від значень набору факторів  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$  впливу  $\vec{x}_i$ , можемо формалізувати у вигляді

$$|y(\vec{x}_i) - y_0(\vec{x}_i)| \leq \xi_i, \quad (1)$$

Тобто, враховуючи умову забезпечення відхилення між прогнозованою чи реальною  $y(\vec{x}_i)$  та бажаною потужністю  $y_0(\vec{x}_i)$ , не більшого від  $\xi_i$  для усіх заданих значень наборів факторів  $\vec{x}_i$ . За даними Буцацького РЕС, для забезпечення неавтономного функціонування МГЕС в енергосистемі достатньо, щоб відхилення  $\xi_i$  генерованої електроенергії від заданого графіка не перевищували 10 %, тобто  $\xi_i = 10\%$  для усіх значень наборів факторів впливу.

За цих умов справедливими є включення [2]

$$y_0(\vec{x}_i) \in [y(x_i) - \xi_i; y(x_i) + \xi_i], \quad \forall \vec{x}_i \in x, \quad (2)$$

які дозволяють для знаходження інтервальної моделі прогнозування потужності МГЕС в межах похибки  $\xi_i = 10\%$  записати таку систему обмежень:

$$\begin{cases} y^-(\vec{x}_1) \leq y_0(\vec{x}_1) \leq y^+(\vec{x}_1); \\ \vdots \\ y^-(\vec{x}_i) \leq y_0(\vec{x}_i) \leq y^+(\vec{x}_i); \\ \vdots \\ y^-(\vec{x}_N) \leq y_0(\vec{x}_N) \leq y^+(\vec{x}_N); \end{cases} \quad (3)$$

Математичну залежність  $y_0(x)$  бажаної потужності подамо у вигляді лінійно-параметричного рівняння

$$y_0(\vec{x}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \varphi_1(\vec{x}) + \dots + \beta_m \cdot \varphi_m(\vec{x}), \quad (4)$$

де  $\vec{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_m)^T$  – вектор невідомих параметрів моделі;  $\vec{\varphi}^T(\vec{x}) = (\varphi_1(\vec{x}), \dots, \varphi_m(\vec{x}))^T$  – вектор невідомих базисних функцій.

Тоді система обмежень (3) матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} y_1^- \leq b_1 \varphi_1(\vec{x}_1) + \dots + b_m \varphi_m(\vec{x}_1) \leq y_1^+; \\ \vdots \\ y_i^- \leq b_1 \varphi_1(\vec{x}_i) + \dots + b_m \varphi_m(\vec{x}_i) \leq y_i^+; \\ \vdots \\ y_N^- \leq b_1 \varphi_1(\vec{x}_N) + \dots + b_m \varphi_m(\vec{x}_N) \leq y_N^+; \end{cases} \quad (5)$$

де  $y_i^- = y(x_i) - \xi_i$ ,  $y_i^+ = y(x_i) + \xi_i$ .

### Структурна ідентифікація інтервальної моделі

Оскільки вектор базисних функцій математичної залежності для прогнозованої та бажаної генерованої електроенергії є невідомий. Для параметричної ідентифікації моделі для прогнозування виробленої електроенергії, спочатку необхідно розв'язувати задачу її структурної ідентифікації [3].

Для синтезу оптимальної структури застосовувався метод послідовного включення, описаний у праці [4]. За критерії оптимальності обрали мінімум кількості членів поліноміальної структури та мінімум об'єму, описаного навколо області параметрів моделі прямокутного паралелепіпеда  $\Pi^+$  (критерій точності), при трьох факторах [4].

Найпростіша модель була задана поліномом першого порядку:

$$y(\vec{x}) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3,$$

На основі даних була складена система інтервальних рівнянь

$$y_i^- \leq b_0 + b_1 \cdot x_{1i} + b_2 \cdot x_{2i} + b_3 \cdot x_{3i} \leq y_i^+, \quad i = 1, \dots, N.$$

Складена система інтервальних рівнянь для даної структури моделі виявилась несумісною, що означало неадекватність моделі.

Тоді було прийнято рішення ускладнити модель, додаванням членів, що відображають парну взаємодію факторів:  $x_1 \cdot x_2$ ,  $x_1 \cdot x_3$ ,  $x_2 \cdot x_3$ . В результаті сформували три моделі такого вигляду:

$$y(\vec{x}) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{jk} \cdot x_j \cdot x_k, \quad j, k = 1, \dots, 3, \quad j < k.$$

Під час перевірки адекватності отриманих моделей жодна з інтервальних систем, складених на їхній основі, не була сумісною.

Подальше нарощування структури моделі здійснювалося за рахунок включення взаємодії факторів, які містять їх квадрати, тобто  $b_{jk} \cdot x_j \cdot x_k^2$ ,  $j, k = 1, \dots, 3$ ,  $j < k$ .

Серед згенерованих моделей такого вигляду:

$$y(\vec{x}) = b_0 + b_p x_k + b_p \cdot x_j \cdot x_k + b_p \cdot x_j \cdot x_k^2, \quad j, k = 1, \dots, 3, \quad j < k, \quad p = 1, \dots, 12,$$

адекватних моделей не було виявлено. Тому було прийнято рішення про розширення базису структурних елементів, за рахунок включення тригонометричних функцій вигляду:  $\sin(x_k)$ ,  $\cos(x_k)$ ,  $k = 1, \dots, 3$ .

Генерування моделей-претендентів відбувалося за такою схемою: на початковому етапі розглядались моделі вигляду:

$$y(\vec{x}) = b_0 + b_p x_k + b_p \cdot x_j \cdot x_k + b_p \cdot f(x_k) + b_p \cdot x_j \cdot x_k^2, \quad j, k = 1, \dots, 3, \quad j < k,$$

$$f(x_k) = (\sin(x_k), \cos(x_k)), \quad p = 1, \dots, 4.$$

На цьому етапі була отримана єдина структура моделі такого вигляду:

$$y(\vec{x}) = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2.$$

Отримана модель має достатньо високі прогнозні властивості (об'єм  $V_{\Pi^+}$  прямокутного паралелепіпеда  $\Pi^+$  дорівнював  $6.0354 \cdot 10^{-8}$ ).

Подальше нарощування членів моделей не має змісту, оскільки супроводжується втратою точності моделей.

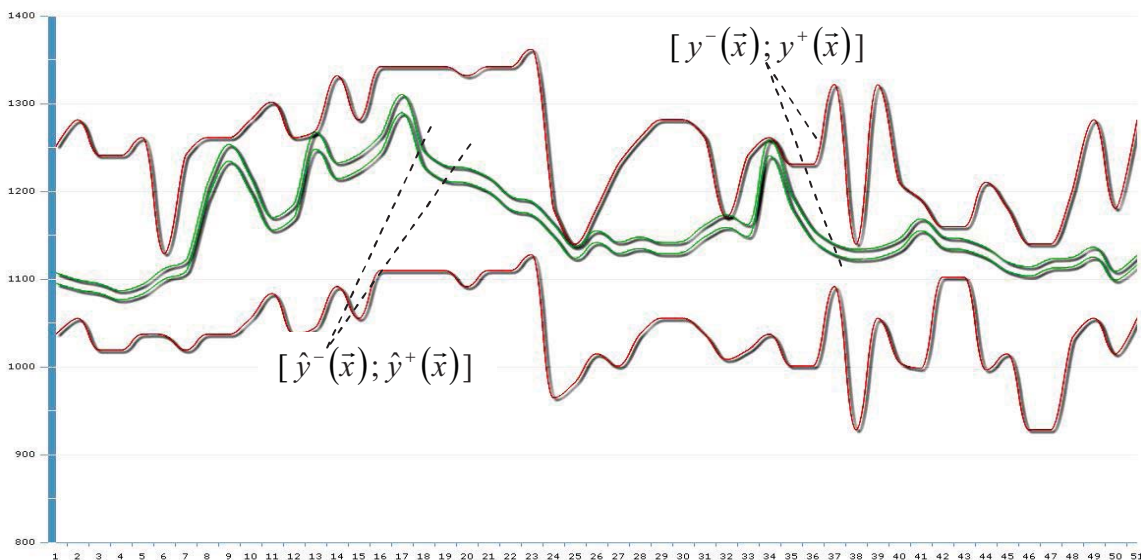
Отже, для побудови інтервальної моделі прогнозування потужності МГЕС залежно від факторів впливу була отримана така базова структура [3]:

$$y(\vec{x}) = b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \quad (6)$$

та гарантовані прогнозовані коридори для згенерованої електроенергії МГЕС (рис. 1.):

$$[\hat{y}^-(\vec{x}); \hat{y}^+(\vec{x})] = \left[ \min_{\vec{b} \in \Omega^*} (b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2); \right.$$

$$\left. b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_1 x_3 + b_3 \cdot \sin(x_3) + b_4 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \max_{\vec{b} \in \Omega^*} \right]. \quad (7)$$



Прогнозований коридор інтервальних моделей  
на основі синтезованої структури порівняно з експериментальним

### Висновки

1. На основі синтезованої структури отримано інтервальну модель для прогнозування потужності малої гідроелектростанції «Топольки».

2. Отримана структура інтервальної моделі дає можливість множинного оцінювання значень факторів впливу, які б забезпечували задані в певних межах значення характеристик електроспоживання. Така задача є особливо актуальною для дослідження показників енергоринку та оцінювання можливостей забезпечення заданих характеристик споживання електроенергії.

1. Кривченко Г. И. Гидравлические машины и насосы: Учеб. для вузов. – 2-е изд., – М.: Энергоатомиздат, 1983.– 320 с. 2. Дивак М.П., Франко Ю.П., Шпінталь М.Я. Оцінювання допусків значень параметрів багатоелементної статичної системи на основі аналізу її інтервальних характеристик // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2005. – № 534: Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 10–14. 3. Франко Ю.П., Дивак М.П., Манжула В.І. Інтервальна модель для прогнозування потужності малої гідроелектростанції «Топольки» // Науково-виробничий журнал „Енергетика та електрифікація”. – грудень 2008 р., – № 12 (304) – С. 10–15. 4. Дивак М.П., Франко Ю.П. Оцінка можливостей МГЕС “Топольки” методами аналізу інтервальних даних // Збірник наукових праць ДонНТУ серії “Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка”. – 2009. – Вип. 10(153). – С. 274–278.