

УДК 519.24

Ю.П.Франко

Тернопільський національний педагогічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (МГЕС) З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МНОЖИННОГО ОЦІНЮВАННЯ

*В статті розглянуто задачу множинного оцінювання значень факторів, які б забезпечували задані в певних межах значення характеристик генерування електроенергії. Для розв'язування задачі застосовуються методи аналізу інтервальних даних. Використані множинні оцінки значень витрат води на турбіні, напору та реактивної потужності визначають передумови за яких забезпечуються задані межі значень характеристик генерування електроенергії.*

Ключові слова: інтервальний аналіз, множинні оцінки, витрати води, напір води, реактивна потужність.  
**Форм 7. Рис. 1. Літ 7.**

**Постановка проблеми.** Енергетична криза, яка охопила практично усі країни світу спонукає до раціонального використання енергоресурсів, пошуку альтернативних джерел енергії. Особливо відчутною нестача енергоресурсів є в Україні. Одним із найбільш універсальних видів енергетичних ресурсів, який у значній мірі визначає безпеку держави є електрична енергія. Електроенергетична система України являє собою сукупність ряду складних інженерних споруд і установок, які виробляють, перетворюють, розподіляють електричну і теплову енергію. Забезпечення її ефективного функціонування вимагає досліджень процесів та генерування і споживання електроенергії. Одним із вискоефективних інструментів досліджень електроенергетики є математичне моделювання на основі системного підходу шляхом побудови макромоделей динаміки і статичних процесів для дослідження взаємозв'язків між зовнішніми чинниками та характеристиками споживання і генерування електроенергії.

Досвід деяких держав свідчить, що освоєння потенціалу малих річок з використанням малих ГЕС і міні-ГЕС допомагає вирішити проблему поліпшення енергопостачання. Устаткування для малих ГЕС до сьогодні виробляють численні фірми США, Японії, Швеції, Швейцарії, Франції, Австрії, Великої Британії. Виробництво такого устаткування розпочато і в державах Східної Європи.

В Україні нараховується понад 63 тис. малих річок загальною довжиною 135,8 тис. км, де можна встановлювати макро- чи мікро- ГЕС. Експлуатація малих ГЕС у нашій країні дає можливість виробляти близько 250 млн. кВт. год. електроенергії, що дозволило б зекономити до 75000 т. дефіцитного органічного палива.

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 після воєнні роки накопичено достатній досвід використання такого виду ресурсів. Зокрема у м. Бучач Тернопільської області на річці Стрипа у 1952 р. була введена в експлуатацію мала гідроелектро станція (МГЕС) "Топольки", яка на той час виробляла близько 100 кВт електроенергії. Частково відновлена і введена в експлуатацію весною 2003 р. МГЕС функціонує і на сьогоднішній день. Проте подальше збільшення потужності МГЕС вимагає дослідження її характеристик генерування електроенергії, вивчення можливостей щодо забезпечення заданого графіку генерування потужності. Для розв'язування вказаної задачі необхідно побудувати математичну модель прогнозування коридору генерованої електроенергії МГЕС залежно від факторів впливу[1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Макромоделі динаміки споживання електроенергії та методи їх побудови частково розглянуто у працях таких українських та зарубіжних вчених: Волосова В.В., Храмова С.А., Одінцової Е.А., Коддингтона Е.А., Левинсона Н., Льюнга Л., Калмана Р. Моделі динаміки генерування електроенергії в достатній мірі розглянуто у працях, Лисяка В.Г., Шидловського А.К., Кириленка О.В.

Проте аналіз праць вказаних авторів показує недостатні прогностичні властивості цих моделей, складність обчислювальних процедур ідентифікації. Тим часом у працях Стахіва П.Г., Плахтини О.Г., Куцика А.С., Борукаєва К.Б., Остапченка Б.Л. розглянуто методи моделювання складних систем, що відзначаються невисокою обчислювальною складністю і забезпечують достатні прогностичні властивості моделей. Тому актуальним є розвиток та застосування цих методів для отримання адекватних моделей споживання та генерування електроенергії.

Відомі також статичні моделі характеристик споживання та генерування електроенергії розглянуто у працях Борисенка А.В, Сауха С.Е, Семагіної Е.П. Вказані моделі переважно будуються на основі регресійного аналізу із використанням критеріїв мінімізації середньоквадратичного відхилення прогнозованих та експериментальних даних, що не завжди є найбільш ефективним.

Досить часто виникає потреба, щоб математична модель забезпечувала гарантовані чи допускові коридори прогнозу характеристик. Такі моделі називають інтервальними. Використання інтервальних моделей дозволяє визначити допуски на зовнішні фактори, що визначають обсяги генерування електроенергії, які своєю чергою відобразатимуть можливості електростанцій. Особливо такі задачі моделювання є актуальними для малих гідроелектростанцій, які останнім часом в зв'язку із енергетичною кризою інтенсивно відновлюють в Україні. На даний момент для математичного моделювання характеристик статичних об'єктів у вигляді допускових та гарантованих коридорів найчастіше використовують методи інтервального аналізу даних, в достатній мірі описані у працях Бакана Г. М., Воциніна О. П., Грановського В. А., Кунцевича В. М., Красовського Н. Н., Куржанського А. Б., Личака М. М., Пшеничного Б. Н., Шарого С. П., Дивака М. П., Шокіна Ю. І., Черноусько Ф. Л., Milanese M., Norton J. P., Pronzanto L., Schwepper F. S., Vicino Walter E., та ін.

Подібної мети, а саме забезпечення гарантованої точності, можна досягти і при моделюванні динамічних процесів з допомогою дискретних макромоделей у вигляді дискретних рівнянь стану. Однак у цьому випадку забезпечення заданої точності реалізується завдяки використанню оптимізаційного підходу при параметричній ідентифікації параметрів моделі.

**Метою** даної статті є оцінка впливу факторів на виробничі потужності малих об'єктів генерування електроенергії на прикладі малої гідроелектростанції (МГЕС) "Топольки", яка функціонує на р. Стрипа в м. Бучач. Таке оцінювання дасть можливість виокремити найбільш важливі фактори та на їх основі провести моделювання для прогнозування коридору потужностей залежно від впливових факторів та вивчення можливостей забезпечення заданого коридору генерованої потужності [2,3].

Проведений аналіз зовнішніх факторів впливу показав [2,3], що зовнішнім середовищем для МГЕС є система постачання гідроресурсів, яка характеризується двома не корельованими між собою факторами напором води, тобто різницею рівнів верхнього і нижнього б'єфів, та рівнем води на гідро пості у верху по течії р. Стрипа. З іншого боку, оскільки МГЕС функціонує в єдиній енергосистемі, то генерована електроенергія також визначається реактивною потужністю.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

*Методика ранжування входних факторів на основі показника повноти інтервальних моделей.*

Ідея кількісного оцінювання впливу факторів ґрунтується на використанні критерію повноти інтервальних моделей.

Повнота моделі – це характеристика, яка визначає ступінь відображення множини відношень у системі [4]. Відображення множини відношень у моделі є скінченим, але має бути достатньо повним, щоб в достатній мірі наближуватись до реального об'єкту. Повнота моделі статичної системи (об'єкта) забезпечується врахуванням факторів впливу, які відіграють важливу управлінську роль в системі[5]. Виявлення найбільш впливових факторів дає можливість спростити модель об'єкта та знайти розумний компроміс між складністю моделі та її повнотою.

Позначимо множину факторів впливу на виробничі потужності малої гідроелектростанції у вигляді:

$$\{\mathcal{X}_1, \mathcal{X}_2, \dots, \mathcal{X}_n, \dots, \mathcal{X}_t\}, \mathcal{X}_1 \subset \mathcal{X}_2 \subset \dots \subset \mathcal{X}_n \subset \dots \mathcal{X}_t \subseteq \mathcal{X}_y,$$

де  $n$  – кількість факторів, на основі яких будується модель,  $t$  – кількість факторів, які можна оцінити,  $y$  – загальна кількість факторів.

Кількісне вираження повноти моделі базується на оцінюванні ступеня варіації інтервалів "виходу" системи, отриманих на основі моделей-претендентів при зміні наборів факторів впливу, по відношенню до інтервалів "виходу" системи отриманих експериментально [6]. В даному випадку неповнота моделі буде проявлятися у варіації прогнозованих за допомогою моделі інтервалів  $[\mathcal{X}_t^{\text{н}}, \mathcal{X}_t^{\text{в}}]$ , отриманих для підмножини структурних елементів  $\mathcal{X}_n \subset \mathcal{X}_y$  по відношенню

до експериментальних інтервалів "виходу" системи  $[y_i^-, y_i^+]$ .

Критерій повноти вимагає мінімізації варіації прогнозованих інтервалів, отриманих на основі моделі, та експериментальних інтервальних даних. При цьому моделі згенеровані із підмножини вхідних змінних  $\mathcal{X}_t \subset \mathcal{X}_y$ , у вигляді:

$$y(x_j) = b_0 + b_1 \cdot x_j, \quad j = 1, \dots, t, \quad (1)$$

повинні бути адекватними. Забезпечення адекватності здійснюється шляхом розширення експериментального коридору.

Загальний вигляд критерію повноти [4]:

$$R(n, m, \mathcal{X}_l, \Delta) \xrightarrow{n, m, \mathcal{X}_l, \Delta} \max$$

$$R(n, m, \mathcal{X}_l, \Delta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\min\{y_i^+, \mathcal{F}_l^e(\bar{x}_{li})\} - \max\{y_i^-, \mathcal{F}_l^e(\bar{x}_{li})\}}{\Delta}, \quad (2)$$

де  $\mathcal{F}_l^e(\bar{x}_{li}) = \min_{\bar{b}_m \in \Omega_m} (\bar{\varphi}^T(\bar{x}_{li}) \cdot \bar{b}_m)$ ;  $\mathcal{F}_l^e(\bar{x}) = \max_{\bar{b}_m \in \Omega_m} (\bar{\varphi}^T(\bar{x}_{li}) \cdot \bar{b}_m)$  – нижнє та верхнє значення прогнозованого інтервалу вихідної змінної на основі адекватної моделі з вхідним фактором  $\mathcal{X}_l, l = 1, \dots, t$ ;  $\Omega_m$  – область параметрів, знайдена із розв'язку системи інтервальних рівнянь:

$$\begin{cases} y_1^- \leq \bar{\varphi}^T(\bar{x}_{l1}) \cdot \bar{b}_m \leq y_1^+; \\ \vdots \\ y_i^- \leq \bar{\varphi}^T(\bar{x}_{li}) \cdot \bar{b}_m \leq y_i^+; \\ \vdots \\ y_N^- \leq \bar{\varphi}^T(\bar{x}_{lN}) \cdot \bar{b}_m \leq y_N^+. \end{cases} \quad (3)$$

Отже, процедура ранжування факторів впливу за критерієм повноти полягає у оцінюванні значення показника повноти для інтервальних моделей з елементарною структурою у вигляді:

$$[\mathcal{F}_l^e(x_j); \mathcal{F}_l^e(x_j)] = [\min_{\bar{b}_{m=1} \in \Omega_{m=1}} (b_0 + b_1 \cdot x_j); \max_{\bar{b}_{m=1} \in \Omega_{m=1}} (b_0 + b_1 \cdot x_j)], \quad j = 1, \dots, n$$

де  $x_j$  –  $j$ -та вхідна змінна із набору  $\mathcal{X}_t$ .

Область  $\Omega_{m=1}$  отримана для параметрів  $b_0, b_1$  моделі  $y(x_j) = b_0 + b_1 \cdot x_j$ , та експериментальних даних:

$$x_{ji} \rightarrow \left[ \frac{(y_i^- + y_i^+)}{2} - \Delta; \frac{(y_i^- + y_i^+)}{2} + \Delta \right], \quad i = 1, \dots, N.$$

При цьому  $\Delta$  задається у такий спосіб, щоб забезпечити сумісність системи інтервальних рівнянь:

$$\frac{(y_i^- + y_i^+)}{2} - \Delta \leq b_0 + b_1 \cdot x_{ij} \leq \frac{(y_i^- + y_i^+)}{2} + \Delta, \quad i = 1, \dots, N.$$

Оцінювання впливу факторів на виробничі потужності МГЕС «Топольки».

Аналіз поточного функціонування МГЕС «Топольки» показав, що основними факторами впливу, на потужність згенерованої електроенергії МГЕС, які можна оцінити, є: реактивна та активна потужності турбіни, напір води на турбіну, розхід води МГЕС, рівень води на гідропості, різниця верхнього та нижнього б'єфу[7].

Отже, множина факторів впливу на виробничі потужності малої гідроелектростанції матиме вигляд:

$$\{\mathcal{X}_1, \mathcal{X}_2, \mathcal{X}_3, \mathcal{X}_4, \mathcal{X}_5, \mathcal{X}_6\},$$

де,  $\mathcal{X}_1, \mathcal{X}_2$  – реактивна  $P_{pm}$  (кВт) та активна  $P_{am}$  (кВт) потужності турбіни, відповідно;

$\mathcal{X}_3$  – напір води на турбіну,  $H$  (м);

$\mathcal{X}_4$  – розхід води МГЕС,  $Q$  (м<sup>3</sup>/с);

$\mathcal{X}_5$  – рівень води на гідропосту,  $h$  (м);

$\chi_6$  – різниця верхнього та нижнього б'єфу,  $B$  (м).

Для проведення ранжування сформуємо на основі вхідних факторів моделі з елементарною структурою вигляду (1):

$$\begin{aligned}y1: y(\chi_1) &= b_0 + b_1 \cdot \chi_1, \\y2: y(\chi_2) &= b_0 + b_1 \cdot \chi_2, \\y3: y(\chi_3) &= b_0 + b_1 \cdot \chi_3, \\y4: y(\chi_4) &= b_0 + b_1 \cdot \chi_4, \\y5: y(\chi_5) &= b_0 + b_1 \cdot \chi_5, \\y6: y(\chi_6) &= b_0 + b_1 \cdot \chi_6.\end{aligned}$$

На основі зведених даних про згенеровану та фактори впливу на її генерування МГЕС за річний період, розв'язавши для кожної моделі систему інтервальних рівнянь вигляду (3), отримаємо прогнозовані інтервали вихідної змінної для кожного фактора. На основі виразу (2) обчислимо значення показника повноти відповідних факторів (рис. 1).

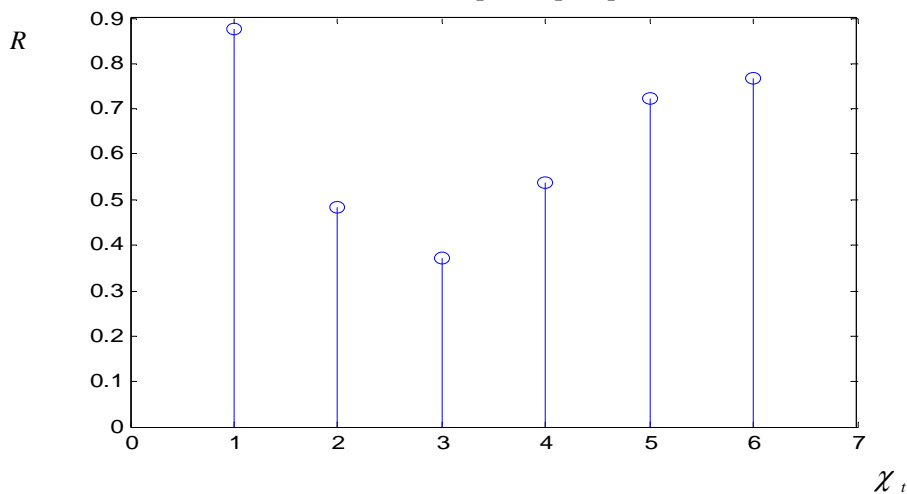


Рис. 1. Значення показника повноти для вхідних факторів  
Авторська розробка

Згідно рис. 1. проранжована множина  $\chi_t$  матиме вигляд:  $\chi_t = \{\chi_1, \chi_6, \chi_5, \chi_4, \chi_2, \chi_3\}$ . Множина  $\chi_n$  буде включати фактори  $\chi_1, \chi_6, \chi_5$ , оскільки найбільша відстань є між факторами  $\chi_5$  та  $\chi_4$ . Отже, в результаті ранжування факторів отримаємо множину  $\chi_n = \{\chi_1, \chi_6, \chi_5\}$ , на основі якої необхідно проводити моделювання для прогнозування коридору потужностей залежно від впливових факторів МГЕС «Топольки».

#### Висновки.

1. В статті проведено аналіз основних факторів впливу, на потужність згенерованої електроенергії МГЕС.

2. Отримано множину найбільш впливових факторів, що дає змогу спростити побудову моделі об'єкта, при цьому забезпечивши повноту відображення моделлю властивостей реального об'єкта.

3. Із застосуванням методу оцінювання допустимої області зовнішніх факторів впливу на характеристики генерування електроенергії, а також із застосуванням множинних оцінок факторів впливу для прогнозування генерованої потужності малої гідроелектростанції «Топольки», досліджено потенційні можливості гідротехнічних споруд цієї гідроелектростанції та гідроресурсів на р. Стрипа.

1. Франко Ю. Інтервальні моделі характеристик споживання електроенергії / Ю. Франко // Науковий журнал "Вісник Хмельницького національного університету" – 2.2007. Том 1. Технічні науки – С. 195-201.
2. Гончаров А.Н. Гидроэнергетическое оборудование гидростанций и его монтаж / А.Н. Гончаров.– М.: Энергия, 1974.–305 с.
3. Кривченко. Г.И. Гидравлические машины и насосы / Г.И. Кривченко.– Учебник для вузов. 2-е изд., – М.: Энергоатомиздат, 1983.– 320 с.
4. Франко Ю. П. Інтервальна модель для прогнозування потужності малої гідроелектростанції "Топольки" / Ю. П. Франко, М. П. Дивак, В. І. Манжула // Науково-виробничий журнал „Енергетика та електрифікація”. – 2008.– №11 (303). – С. 21–29.
5. Дывак М. Структурная идентификация интервальных моделей статических систем / Дывак М., Манжула В. // Проблемы управления и информатики. – 2008. – №2. – С. 26-28.
6. Дивак М. Багатокритеріальний підхід структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем / Дивак М., Манжула В. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – №2. – С. 37 – 44.
7. Дивак М.П. Оцінка можливостей МГЕС "Топольки" методами аналізу інтервальних даних / М.П. Дивак, Ю.П. Франко // Збірник наукових праць ДонНТУ серії "Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка". – 2009. – Вип. 10(153), С. 274-278.