

УДК 51-74

Оцінка можливостей МГЕС «Топольки» методами аналізу інтервальних даних

Дивак М.П., Франко Ю.П.

Тернопільський національний економічний університет

mdy@tneu.edu.ua

Бучацький інститут менеджменту і аудиту

franko_yup@ukr.net

Abstract

Dyvak M., Franko Yu. Estimation of capacity of small hydro electric power station "Topol'ky" by methods of interval data analysis. The task of multiple-set estimation of factors values, which within certain boundaries are ensuring the set characteristics of electric power generation, is considered. For the task solving the interval data analysis methods are applied.

визначається коефіцієнтом потужності енергосистеми - $\cos(\varphi)$.

Актуальність задачі

У після воєнні роки накопичено достатній досвід використання гідроресурсів малих річок. Зокрема у м. Бучач Тернопільської області на річці Стрипа у 1953 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 літом 2003 р. МГЕС функціонує і на сьогоднішній день. На МГЕС "Топольки" встановлена горизонтальна радіально-осьова гідротурбіна фірма "Фойт" типу Gk 6,9 F260, яка працює при напорах 4÷4,5м. На сьогоднішній день МГЕС виробляється близько 1000 кВт/добу електроенергії. Тим часом як значна частина води через центральний отвір, отвір для додаткової турбіни в аванкамері а також через перелив по лівій бровці на довжині 115 м проходить без використання у водовідвідний канал і повертається у р. Стрипа. Передбачається також встановлення ще однієї вертикальної радіально-осьової гідротурбіни фірми "Фойт" типу 13,1- F225.

Наявність неефективно використовуваних гідроресурсів на сьогоднішній день дозволяє суттєво збільшити обсяги генерованої електроенергії та ввести в експлуатацію додаткову турбіну. Для цих цілей необхідно дослідити роботу МГЕС на основі створеної макромоделі генерованої потужності [1]. У цій же праці показано, що основними чинниками забезпечення стабільної прогнозованої роботи МГЕС є підтримання в заданих межах параметрів системи постачання гідроресурсів, які визначаються напором води, тобто різницею рівнів верхнього і нижнього б'єфів, рівнем води на гідропості у верху по течії р. Стрипа та допустимими межами значень реактивної потужності. Своєю чергою рівнем води на гідропості визначається потенційна можливість витрат води на турбіні, а реактивна потужність

Таким чином, враховуючи можливість збільшення генерованої потужності МГЕС та встановлення додаткової турбіни, актуальними є оцінка можливостей існуючої системи постачання гідроресурсів та можливостей забезпечення заданого коефіцієнту потужності $\cos(\varphi)$. При цьому дану задачу розглядатимемо, як задачу множинного оцінювання значень факторів, які б забезпечували задані в певних межах значення характеристик генерування електроенергії [2,3]. Такого типу задачі вимагають застосування методів аналізу інтервальних даних [4,5]. Множинні оцінки значень витрат води на турбіні, напору та реактивної потужності визначатимуть передумови за яких забезпечуватимуться задані межі значень характеристик генерування електроенергії.

Вихідні дані та математичні моделі

Будемо вважати, що потенційні витрати води на турбіні, які визначаються рівнем води у р. Стрипа і відповідно погодними умовами, є випадковими. Аналогічно напір води, також буде змінюватися залежно від підпирання водою, через процеси випадкового замулення, як аванкамери, так і стічного каналу, то цей фактор також можна вважати випадковим. Реактивна потужність залежить від випадкових процесів споживання електроенергії і є також випадковою. Тоді доцільно розглядати сукупний вплив цих факторів на якість генерування електроенергії, зокрема на генеровану потужність, з імовірнісної точки зору. Припустимо, що закон розподілу імовірностей значень цих факторів є нормальним. Тоді для заданої імовірності можна визначити багатовимірний еліпсоїд розсіювання значень впливових факторів на характеристики генерування електроенергії і використати,

розроблений у праці [6], метод імовірного забезпечення заданих значень характеристик генерування електроенергії. За характеристики генерованої електроенергії в даному випадку приймаємо:

- потужність генерованої електроенергії $\hat{y}(\bar{x})$, яка визначається макромоделлю, наведеною у праці [1]

$$\hat{y}(\bar{x}) = 5,5998 \cdot x_1 + 0,0939 \cdot x_1 x_3 - 5,7853 \cdot \sin(x_3) - 0,0075 \cdot x_1 \cdot x_2^2, \quad (1)$$

де x_1 – реактивна потужність; x_2 – напір (різниця відміток верхнього і нижнього б'єфів; x_3 – рівень води на гідро пості у верху по течії р. Стрипа;

- коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$, із номінальним значенням 0,986;

- активну потужність $y_A(\bar{x})$ [7]

$$y_A(\bar{x}) = x_1 \cdot \operatorname{ctg}(\varphi); \quad (2);$$

- номінальну механічну потужність $y_M(\bar{x})$ [7]

$$y_M(\bar{x}) = 9,81 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot K, \quad (3)$$

- K – коефіцієнт корисної дії із урахуванням втрат на генераторі, із середнім значенням 0,825 та допустимим діапазоном зміни $0,8 \leq K \leq 0,85$;

- допустимі інтервали характеристик генерування електроенергії задамо в межах 10% від номінальних.

Експлуатаційні характеристики встановленої та передбаченої для встановлення турбін наведені у таблицях 1 і 2, а робочі характеристики МГЕС наведені у таблиці 3 [8].

Таблиця 1. Технічні характеристики встановленої горизонтальної радіально-осьової гідротурбіни фірми "Фойт" типу Gk 6,9 F260

Напір x_2 , м	Розхід води на турбіні x_3 , м ³ /с	Число обертів Пт, об/хв.	Потужність турбіни $\hat{y}^0(\bar{x})$, кВт/год	Діаметр турбіни Dmax, м
Потенційні характеристики малої турбіни				
4.00	1.542	193	46.5	0.9
4.50	1.632	193	55.7	0.9
Робочі характеристики малої турбіни				
4.1	1.56	193	53.2	0.9

Оцінка можливостей підвищення потужності МГЕС

Користуючись експлуатаційними характеристиками турбін, наведеними у таблицях 1, 2 та зведеної таблиці 3, задаємо номінальні (бажані) значення: напору $x_{02} = 4,1$ м та розходу води (рівня води на гідропості) $x_{03} = 5,97$ м³/с.

Обґрунтуємо номінальну величину реактивної потужності. Цей параметр залежить від основних параметрів енергосистеми, зокрема характеру навантаження енергосистеми

(електродвигуни, трансформатори та інше технічне обладнання) та визначається

Таблиця 2. Технічні характеристики вертикальної радіально-осьової гідротурбіни фірми "Фойт" типу 13,1- F225

Напір x_2 , м	Розхід води на турбіні x_3 , м ³ /с	Число обертів Пт, об/хв.	Потужність турбіни $\hat{y}^0(\bar{x})$, кВт/год	Діаметр турбіни Dmax, м
Потенційні характеристики великої турбіни				
3.4	4.05	95	107.46	1.56
4.1	4.41	95	143.5	1.56
4.8	4.82	95	182.5	1.56
Робочі характеристики великої турбіни				
4.1	4.41	95	196.7	1.56

Таблиця 3. Зведена таблиця робочих характеристик МГЕС

Напір x_2 , м	Сумарний розхід води на турбінах x_3 , м ³ /с	Сумарна потужність МГЕС $\hat{y}^0(\bar{x})$, кВт/год	Сумарна потужність МГЕС $\hat{y}^0(\bar{x})$, кВт/добу
4,1	5,97	196,7	4720,8

коефіцієнтом потужності. $\cos(\varphi)$ системи залежить від довжини ліній електропередач та сичення проводу по якому передається електроенергія (АС-50 10 kV). Якщо в системі є дефіцит реактивної потужності, то $\cos(\varphi)$ лежить в межах 0,6-0,9. При такому режимі зменшується пропускна здатність ліній по активній потужності. Це означає, що при проходженні великого струму передається значно менша потужність і при цьому збільшуються втрати активної потужності на нагрів провідників (великий реактивний опір) і становлять в межах від 3% до 6%. Враховуючи заданий коефіцієнт потужності $\cos(\varphi) = 0,986$, орієнтоване номінальне значення реактивної потужності складатиме 32 кВт/год, а отже: $x_{01} = 768$ кВт/добу.

Тоді за формулами (1)- (3) визначаємо номінальні значення характеристик генерування електроенергії:

$$\hat{y}^0 = 4636,131 \text{ кВт/добу},$$

$$y^0_A = 4541,345 \text{ кВт/добу},$$

$$y^0_M = 4754,364 \text{ кВт/добу}.$$

На основі вихідних даних обчислимо допустимі інтервали характеристик генерування електроенергії (в межах 10% від номінальних):

$$\hat{y}^0 \in [\hat{y}^-, \hat{y}^+] = [4172,518; 5099,744],$$

$$y^0_A \in [y^0_{A-}, y^0_{A+}] = [4087,21; 4995,479],$$

$$y^0_M \in [y^0_{M-}; y^0_{M+}] = [4278,927; 5229,8].$$

Врахувавши, що номінальне значення

$\cos(\varphi)=0,986$, покладемо в рівнянні (2): $\operatorname{ctg}(\varphi)=5,91$. В рівнянні (3), врахувавши фізичні обмеження на K – коефіцієнт корисної дії із урахуванням втрат на генераторі $0,8 \leq K \leq 0,85$, поділимо ліву та праву частину за правилами інтервальної арифметики на інтервальне значення $[K]=[0,8;0,85]$. В результаті виконаних перетворень отримаємо таку нелінійну систему інтервальних рівнянь:

$$\begin{aligned} 4172,518 &\leq 5,5998 \cdot x_1 + 0,0939 \cdot x_1 x_3 - \\ &- 5,7853 \cdot \sin(x_3) - 0,0075 \cdot x_1 \cdot x_2^2 \leq 5099,744 \\ 4087,21 &\leq x_1 \cdot 5,91 \leq 4995,479 \\ 5034,032 &\leq 9,81 \cdot x_2 \cdot x_3 \leq 6537,25 \end{aligned}$$

Застосуванням розкладу функцій $\hat{y}(\bar{x})$, $y_A(\bar{x})$, $y_M(\bar{x})$, заданих відповідно виразами (1)-(3), в ряд Тейлора в околі вектора факторів впливу $\bar{x}_0$ та з вибором першого члена розкладу приходимо до такої системи:

$$\begin{aligned} 4172,518 &\leq 4636,131 + 6,129 \cdot (x_1 - 32) + 1,968 \times \\ &\times (x_2 - 4,1) + 0,603 \cdot (x_3 - 5,97) \leq 5099,744 \\ 4087,21 &\leq 4541,345 + 5,910 \cdot (x_1 - 32) \leq 4995,479 \\ 5034,032 &\leq 4754,364 + 58,566 \cdot (x_2 - 4,1) + 40,221 \times \\ &\times (x_3 - 5,97) \leq 6537,25 \end{aligned}$$

З метою приведення отриманої ІСЛАР до матричного вигляду, введемо такі позначення:

$$\begin{aligned} \hat{y}^- &= \hat{y}^- - \hat{y}^0 = -463,613; \quad \hat{y}^+ = \hat{y}^+ - \hat{y}^0 = 463,613; \\ \hat{y}_A^- &= y_A^- - y_A^0 = -454,135; \quad \hat{y}_A^+ = y_A^+ - y_A^0 = 454,134; \\ \hat{y}_M^- &= y_M^- - y_M^0 = -475,437; \quad \hat{y}_M^+ = y_M^+ - y_M^0 = 475,436; \\ \delta x_1 &= x_1 - x_{01}, \quad \delta x_2 = x_2 - x_{02}, \quad \delta x_3 = x_3 - x_{03}, \end{aligned}$$

$$\tilde{F} = \begin{pmatrix} 6,129 & 1,968 & 0,603 \\ 5,910 & 0 & 0 \\ 0 & 58,566 & 40,221 \end{pmatrix},$$

отримаємо:

$$\begin{pmatrix} \delta \hat{y}^- \\ \delta \hat{y}_A^- \\ \delta \hat{y}_M^- \end{pmatrix} \leq \tilde{F} \cdot \begin{pmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \delta x_3 \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} \delta \hat{y}^+ \\ \delta \hat{y}_A^+ \\ \delta \hat{y}_M^+ \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Розв'язком отриманої інтервальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь (4) є множина $\tilde{\Omega}$ допустових відхилень факторів впливу на характеристики генерування електроенергії [4,5].

Знаходження допустових відхилень факторів впливу на характеристики генерування електроенергії на основі множини $\tilde{\Omega}$ вимагає задання деякої імовірності забезпечення заданих меж цих характеристик.

Виходячи із властивостей допустової області характеристик генерування електроенергії, забезпечення заданої імовірності визначених меж характеристик будемо здійснювати на основі співставлення допустової

області $\tilde{\Omega}$ із технологічною областю розсіювання значень відхилень факторів впливу, яка за умови нормального закону їх розподілу є еліпсоїдом – у випадку взаємної залежності факторів впливу, чи паралелепіпедом – у випадку не залежності факторів впливу. У нашому випадку фактори впливу є взаємозалежними і випадкові відхилення елементів δx_j , $j=1, \dots, 3$, розподілені згідно нормального закону. Тоді допустимі значення для відхилень δx_j значень факторів впливу на генерування електроенергії, задаємо довірчими інтервалами у вигляді нерівності:

$$-\bar{\sigma} \cdot u(\alpha) \leq \delta x \leq \bar{\sigma} \cdot u(\alpha), \quad (5)$$

де $\bar{\sigma} = (\sigma_1, \dots, \sigma_3)^T$ - вектор невідомих стандартних відхилень значень факторів впливу на генерування електроенергії від номінальних; $u(\alpha)$ – табличне значення (квантиль) нормованого нормального закону розподілу; α - довірна імовірність. Допускові значення дисперсії знаходимо із врахуванням умови $\bar{\delta x} = (0, \dots, 0)^T$ на основі методу, запропонованого у працях [2,6] із виразу

$$[\delta x_j^-; \delta x_j^+] = [-k_j \cdot \sigma, k_j \cdot \sigma], \quad j = 1, \dots, 3, \quad (6)$$

де

$$\sigma = 1 / \sqrt{u^2(\alpha) \cdot \bar{k}^T \cdot \tilde{F}^T \cdot E^{-2} \cdot \tilde{F} \cdot \bar{k}} \quad (7).$$

Задамо у виразі (7): $p=1-\alpha$ - довірчу імовірність забезпечення межових значень характеристик генерування електроенергії на достатньо високому рівні $p=0,995$, тобто $\alpha=0,005$, $u(\alpha)=2,8$; вектор співвідношень між дисперсіями факторів впливу на характеристики генерування електроенергії, виходячи із технологічних можливостей $\bar{k} = (k_1, \dots, k_3)^T = (5; 0,2; 1)$. Тоді, з урахуванням у формулі (7), що елементи $\tilde{E}$ – діагональної матриці відхилень характеристик генерування електроенергії від значень, заданих на основі номінальних факторів впливу набувають таких значень:

$$\tilde{\Delta}_{11} = 0,5 \cdot (\delta \hat{y}^+ - \delta \hat{y}^-) = 463,613,$$

$$\tilde{\Delta}_{22} = 0,5 \cdot (\delta y_A^+ - \delta y_A^-) = 454,135,$$

$$\tilde{\Delta}_{33} = 0,5 \cdot (\delta y_M^+ - \delta y_M^-) = 475,437,$$

а матриця

$$\tilde{F} = \begin{pmatrix} 6,129 & 1,968 & 0,603 \\ 5,910 & 0 & 0 \\ 0 & 58,566 & 40,221 \end{pmatrix}, \text{ отримаємо:}$$

$\sigma = 2,475$, і відповідно

$$[\delta x_1^-; \delta x_1^+] = [-12,375; 12,375];$$

$$[\delta x_2^-; \delta x_2^+] = [-0,495; 0,495];$$

$$[\delta x_3^-; \delta x_3^+] = [-2,475; 2,475].$$

Із урахуванням формул

$[x_1^-; x_1^+] = [\delta x_1^-; \delta x_1^+] + x_{01}$, $[x_2^-; x_2^+] = [\delta x_2^-; \delta x_2^+] + x_{02}$,
 $[x_3^-; x_3^+] = [\delta x_3^-; \delta x_3^+] + x_{03}$, отримуємо інтервали
 допустимих значень для x_1 – реактивної
 потужності, x_2 – напору (різниці відміток
 верхнього і нижнього б'єсів, x_3 – рівня води на
 гідропості, відповідно: $[x_1^-; x_1^+] = [755,626; 780,374]$,
 $[x_2^-; x_2^+] = [3,605; 4,595]$ $[x_3^-; x_3^+] = [3,495; 8,445]$. Ці
 інтервали із імовірністю $p=0,995$ забезпечують:
 задані межі прогнозованої потужності генерованої
 електроенергії $4172,518 \leq \hat{y}(\bar{x}) \leq 5099,744$;
 коефіцієнта потужності $\cos(\varphi) = 0,986$; межі
 активної потужності $4087,21 \leq y_A(\bar{x}) \leq 4995,479$;
 межі номінальної механічної потужності
 $4278,927 \leq y_M(\bar{x}) \leq 5229,8$ та $0,8 \leq K \leq 0,85$ –
 коефіцієнта корисної дії.

Аналіз отриманих допусків засвідчує, що
 вони цілком відповідають можливостям існуючих
 гідротехнічних споруд. Так отриманий інтервал
 допусків значень напору $[x_2^-; x_2^+] =$
 $= [3,605; 4,595] \supset [4; 4,5]$ включає допусківий
 існуючий технологічний інтервал можливих змін
 напору на МГЕС. Також, як показали
 вимірювання на гідро пості у верху р. Стрипа,
 сезонні коливання рівня води складають від 4,11
 до 12,8 м/с, що повністю задовольняє допустимий
 нижній рівень 3,495 оціненого допускового
 інтервалу $[x_3^-; x_3^+] = [3,495; 8,445]$ на ці коливання.
 Верхній рівень коливань врегульовується стоком
 надлишкової води через третій отвір в аванкамері.
 Слід зауважити, що співставлення отриманих
 допусків із робочими характеристиками
 запропонованих до використання турбін,
 наведеними у таблицях 1-3, вказують на те, що
 оцінені допускові значення напору та розходу
 води на турбінах повністю відповідають робочим
 характеристикам цих турбін. Не є проблемою і
 забезпечення відповідних допустимих значень
 реактивної потужності МГЕС при паралельній
 роботі із основною енергосистемою в межах
 $[x_1^-; x_1^+] = [755,626; 780,374]$, оскільки потужність
 станції є достатньо малою у порівнянні із
 споживаною потужністю, зафіксованою РЕС.

Виходячи із вище викладеного, на МГЕС
 «Топольки» реальним є збільшення прогнозованої
 потужності мінімум до 4172 кВт/добу, тобто
 більше як у чотири рази шляхом встановлення
 додаткової вертикальної радіально-осьової
 гідротурбіни фірми «Фойт» типу 13,1- F225.

Висновки

1. Проведено дослідження умов
 функціонування та генерування електроенергії
 малою гідроелектростанцією «Топольки» і при
 цьому встановлено неефективне використання
 гідроресурсів.

2. Запропоновано для дослідження
 можливостей МГЕС застосувати методи аналізу
 інтервальних даних, зокрема метод еліпсоїдного
 оцінювання допустимої області зовнішніх
 факторів впливу на характеристики генерування
 електроенергії.

3. Вперше із застосування методу
 оцінювання допустимої області зовнішніх
 факторів впливу на характеристики генерування
 електроенергії, а також із застосуванням
 побудованої інтервальної макромоделі для
 прогнозування генерованої потужності малої
 гідроелектростанції «Топольки», досліджено
 потенційні можливості гідротехнічних споруд цієї
 гідроелектростанції та гідроресурсів на р. Стрипа.
 Показано можливість підвищення ефективності
 використання МГЕС шляхом введення додаткової
 турбіни і збільшення генерованої електроенергії
 більш як у 4 рази.

Література

1. Франко Ю.П., Дивак М.П., Манжула В.І.
 Інтервальна модель для прогнозування потужності
 малої гідроелектростанції "Топольки". // Енергетика
 та електрифікація. – 2008. - №11.-С 21-29.
2. Дивак М.П., Франко Ю.П., Шпінталь М.Я.
 Оцінювання допустимих значень параметрів
 багатоеlementної статичної системи на основі
 аналізу її інтервальних характеристик. // Вісник
 НУ "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та
 телекомунікації.- 2005.- № 534. - С.10 -14
3. Dyvak M., Stakhiv P., Franko Yu. Method of
 tolerance parameters estimation of the static system
 based on the tolerance sets in form of ellipsoid //
 Proc. of the VIII international conf. "The Experience
 of Designing and Application of CAD System in
 Microelectronics" - Lviv-Polyana, Ukraine, 2005.-
 P.349-351.
4. Дивак М.П., Стахів П.Г. Ідентифікація моделей
 об'єктів в умовах інтервальної невизначеності на
 основі методів аналізу інтервальних даних. //
 Праці міжн. Конф. з управління "АВТОМАТИКА-
 2000".– Львів: Державний НДІ інформаційної
 інфраструктури. - 2000. – Т.2. - С.90-97.
5. Кунцевич В., Лычак М. Получение
 гарантированных оценок в задачах
 параметрической идентификации // Автоматика. –
 1982. – №4. – с.49–59.
6. Франко Ю. Інтервальні моделі характеристик
 споживання електроенергії // Науковий журнал
 "Вісник Хмельницького національного
 університету" – 2.2007. Том 1. Технічні науки – с.
 195-201.
7. Кривченко. Г.И. Гидравлические машины и
 насосы. Учебник для вузов. 2-е изд., – М.:
 Энергоатомиздат, 1983.– 320 с.
8. Гончаров А.Н. Гидроэнергетическое
 оборудование гидроэлектростанций и его
 монтаж.– М.: Энергия, 1974.–305 с.

Надійшла до редколегії 12..03.2009