



ЛІТВИНОВ В.В., канд. техн. наук; в.о. нач. ВТС Дніпровської ГЕС ПАТ "Укргідроенерго"; доцент кафедри гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії,
КОТЕЛЕВСЬКА І.Г., магістрант кафедри гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії.

МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ СЛАБКИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ГЕС

Розроблено метод інтервальної ідентифікації коефіцієнтів статичних характеристик навантаження мережі власних потреб ГЕС. Інтервальний метод визначення статичних характеристик навантаження дозволяє більш точно проводити розрахунки усталених електричних режимів мережі власних потреб в умовах стохастичності зміни навантаження в процесі роботи ГЕС.

К л ю ч о в і с л о в а: статична характеристика, власні потреби, інтервальний коефіцієнт, генетичний алгоритм, вузол навантаження.

Вступ. Однією з найбільш відповідальних підсистем гідроелектростанції (ГЕС) є мережа електроживлення її власних потреб. Для забезпечення надійної роботи ГЕС у складі електроенергетичної системи важливою задачею є забезпечення надійної роботи її мережі власних потреб. Сучасні режими роботи електрообладнання власних потреб ГЕС є достатньо напруженими через наявність наступних факторів:

- 1) застаріле обладнання (трансформатори, вимикачі) та кабельне господарство;
- 2) підключення додаткових споживачів власних потреб протягом всього терміну експлуатації до існуючих вузлів електричної мережі без урахування номінальних параметрів існуючого обладнання, що часто призводить до його перевантаження;
- 3) робота в повторно-короткочасному режимі потужних асинхронних двигунів (насоси МНУ, компресори систем стиснутого повітря, тощо).

В таких умовах функціонування надійності електроживлення обладнання власних потреб ГЕС значно знижується. Комплексним рішенням цієї проблеми є повна реконструкція мережі власних потреб ГЕС з заміною силового та комутаційного обладнання, а також кабелів. Але в умовах обмеженого фінансування та надання пріоритетів під час проведення реконструкції основного обладнання ГЕС ця проблема вирішується лише частково. Таким чином, для найбільш ефективного розподілу ресурсів, які виділяються на модернізацію або заміну обладнання мережі власних потреб, необхідно виділяти найбільш слабкі елементи (або групи слабких елементів), які потребують першочергової заміни.

Постановка задачі. Визначення слабких елементів мережі власних потреб ГЕС складається з двох локальних задач: визначення слабких елементів з точки зору режиму та слабких елементів з точки зору технічного стану. Для вирішення першої локальної задачі необхідне виконання розрахунків усталених та перехідних режимів мережі власних потреб. Достовірність результатів моделювання усталених та перехідних режимів

мережі власних потреб ГЕС залежить, в першу чергу, від правильності представлення електричного навантаження (споживачів). Власні потреби ГЕС мають наступні особливості:

- відсутність дольової переваги одного з типів навантаження (асинхронні двигуни, тиристорні перетворювачі, опалення, освітлення, тощо);
- робота більшості двигунового навантаження в повторно-короткочасному режимі (насоси МНУ, лекажні насоси, дренажні насоси, компресори систем стиснутого повітря, тощо);
- залежність режиму роботи мережі власних потреб від режиму роботи ГЕС (робота в базисі під час паводка, покриття пікових навантажень, робота в системі автоматичного регулювання частоти та активної потужності).

Перераховані особливості навантаження значно ускладнюють його представлення під час моделювання режимів роботи мережі власних потреб ГЕС. Оскільки навантаження власних потреб ГЕС складається з різнорідних споживачів, склад яких постійно змінюється у часі, то в задачі розрахунку режиму мережі власних потреб доцільно використовувати заміну реальних споживачів еквівалентними статичними характеристиками навантаження, які дають можливість визначити залежність навантаження від прикладеної напруги та подають навантаження параметрами, зручними для розрахунку усталених та перехідних режимів електричної мережі [1].

Статичні характеристики навантаження мають наступний вигляд [2]:

$$\begin{aligned} P &= P_0 (a_0 + a_1 U + a_2 U^2), \\ Q &= Q_0 (b_0 + b_1 U + b_2 U^2), \end{aligned} \quad (1)$$

де P_0 – активна потужність навантаження за номінальної напруги у вузлі, в.о.; Q_0 – реактивна потужність навантаження за номінальної напруги у вузлі в.о.; U – робоча напруга у вузлі навантаження, в.о.; a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти статичної характеристики активної потужності; b_0, b_1, b_2 – коефіцієнти статичної характеристики реактивної потужності.



Точність представлення навантаження за виразом (1) залежить, в першу чергу, від правильності вибору коефіцієнтів $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$.

Слід зазначити, що вказані вище коефіцієнти типових статичних характеристик складені для представлення навантаження вузлів промислових підприємств та побутових споживачів [1] та не відображають склад навантаження мереж власних потреб ГЕС. Регулювання напруги у вузлах приєднання мережі власних потреб до джерел живлення у широкому діапазоні для експериментального визначення статичних характеристик, як того вимагає активний експеримент [3], є неприпустимим через високу відповідальність споживачів. Використання пасивного експерименту [3] може виявитись малоефективним через незначний діапазон змінення напруг у вузлах мережі власних потреб. Крім того, жоден з розглянутих методів визначення статичних характеристик навантаження не враховує перераховані вище особливості навантаження мережі власних потреб ГЕС. В цих об'єктивно існуючих умовах доцільним є визначення інтервалів зміни параметрів коефіцієнтів статичного навантаження [4, 5] з подальшою дискретизацією в залежності від режимних умов мережі в розглядуваний момент часу.

Метод інтервальної ідентифікації параметрів статичного навантаження з використанням генетичного алгоритму. Розглянемо вузол мережі власних потреб ГЕС про який відомо що в ньому знаходиться різноманітне навантаження, яке значно змінюється в часі через повторно-короткочасний режим роботи обладнання. При моделюванні режимів мережі власних потреб, навантаження такого вузла доцільно представити еквівалентним статичним навантаженням (1). Але, через те що склад навантаження постійно змінюється, коефіцієнти що входять у вирази (1) також змінюються у певному інтервалі. Для визначення цих інтервалів доцільно переписати ці вирази наступним чином:

$$P = P_0 a_0 + P_0 a_1 U + P_0 a_2 U^2 = d_0 + d_1 U + d_2 U^2, \\ Q = Q_0 b_0 + Q_0 b_1 U + Q_0 b_2 U^2 = f_0 + f_1 U + f_2 U^2. \quad (2)$$

Інтервальні коефіцієнти при цьому описуються парами чисел:

$$D_0 = (d_0, e_0), D_1 = (d_1, e_1), D_2 = (d_2, e_2), \\ F_0 = (f_0, g_0), F_1 = (f_1, g_1), F_2 = (f_2, g_2), \quad (3)$$

де $d_0, d_1, d_2, f_0, f_1, f_2$ – значення середини інтервалів, $2e_0, 2e_1, 2e_2, 2g_0, 2g_1, 2g_2$ – значення ширини інтервалів.

З урахуванням інтервальних коефіцієнтів вирази приймають значення:

$$P = D_0 + D_1 U + D_2 U^2, \\ Q = F_0 + F_1 U + F_2 U^2, \quad (4)$$

Для визначення інтервальних коефіцієнтів (3) необхідне використання доступної режимної інформації про цей вузол навантаження. Такою інформацією є [4]:

- залежність напруги у вузлі навантаження від часу $U(t)$;
- залежність активної потужності, що споживається у вузлі навантаження, від часу $P(t)$;
- залежність реактивної потужності, що споживається у вузлі навантаження, від часу $Q(t)$.

Проміжок часу T , на якому визначені залежності $U(t), P(t), Q(t)$, розділяється на N інтервалів ($t_0 = 0, t_1 = T/N, t_2 = 2T/N, \dots, t_N = T$) на границях яких визначаються значення напруги, активної та реактивної потужностей [4]:

$$\{U(t_0), P(t_0), Q(t_0)\}, \\ \{U(t_1), P(t_1), Q(t_1)\}, \\ \dots, \\ \{U(t_N), P(t_N), Q(t_N)\}. \quad (5)$$

Наявна режимна інформація про вузли навантаження дозволяє сформулювати наступні цільові функції:

$$F_p = e_0 n + e_1 \sum_{i=1}^N U_i + e_2 \sum_{i=1}^N U_i^2 \rightarrow \min, \\ F_Q = g_0 n + g_1 \sum_{i=1}^N U_i + g_2 \sum_{i=1}^N U_i^2 \rightarrow \min. \quad (6)$$

Сформовані цільові функції представляють собою задачу лінійного програмування з обмеженнями. Обмеження цільової функції F_p :

$$d_0 + d_1 U_i + d_2 U_i^2 + e_0 + e_1 U_i + e_2 U_i^2 \geq P_i, i = 1, \dots, n, \\ d_0 + d_1 U_i + d_2 U_i^2 - e_0 - e_1 U_i - e_2 U_i^2 \leq P_i, i = 1, \dots, n, \\ 0,7 \max\{P_i\} \geq d_0 \geq -0,5 \max\{P_i\}, \\ 1,5 \max\{P_i\} \geq d_1 \geq 0,3 \max\{P_i\}, \\ 0,5 \max\{P_i\} \geq d_2 \geq 0, \\ e_0 \geq 0, e_1 \geq 0, e_2 \geq 0. \quad (7)$$

Обмеження цільової функції F_Q :

$$g_0 + g_1 U_i + g_2 U_i^2 + f_0 + f_1 U_i + f_2 U_i^2 \geq Q_i, i = 1, \dots, n, \\ g_0 + g_1 U_i + g_2 U_i^2 - f_0 - f_1 U_i - f_2 U_i^2 \leq Q_i, i = 1, \dots, n, \\ 13,1 \max\{Q_i\} \geq g_0 \geq 5,4 \max\{Q_i\}, \\ -14,4 \max\{Q_i\} \geq g_1 \geq -26,2 \max\{Q_i\}, \\ 14,1 \max\{Q_i\} \geq g_2 \geq 9,6 \max\{Q_i\}, \\ f_0 \geq 0, f_1 \geq 0, f_2 \geq 0. \quad (8)$$

Чисельні коефіцієнти у виразах (7), (8) представляють собою мінімальні та максимальні значення відповідних коефіцієнтів статичних характеристик згідно до [1].

З виразів (7)–(8) видно, що кількість обмежень дорівнює $2(2N + 9)$. Таким чином, отримана оптимізаційна задача має складну структуру через велику кількість обмежень у вигляді нерівностей. Застосування стандартних методів типу гілок та



границь або динамічного програмування є дуже ускладненим. В цих умовах, для розв'язання отриманої задачі лінійного програмування доцільно застосувати генетичний алгоритм [4, 6]. Схема роботи генетичного алгоритму наступна. Оптимізаційна задача формалізується таким чином, щоб її рішення можна було представити у вигляді вектора генів, кожен з яких є певним числом. Випадковим чином формується множина генотипів початкової популяції. Вони оцінюються з використанням "функції пристосованості", в результаті чого з кожним генотипом асоціюється певне значення, яке визначає наскільки добре описуваний ним генотип вирішує поставлену задачу.

З отриманої множини рішень з урахуванням значення "пристосованості" обираються рішення до яких застосовуються генетичні оператори "схрещування" та "мутація", в результаті чого отримуються нові рішення. Для них також визначається пристосованість та проводиться відбір кращих рішень у наступне покоління, і т.д.

Таким чином, генетичний алгоритм інтервальної ідентифікації коефіцієнтів статичних характеристик навантаження складається з наступних етапів [7]:

- задається цільова функція (функція пристосованості) для особин популяції;
- за допомогою генератора випадкових чисел (ГВЧ) на можливих інтервалах рішення формується початкова популяція;
- починається цикл пошуку рішення;
- виконується процедура розмноження (схрещування);
- виконується процедура мутації;
- обчислюється значення цільової функції для всіх особин;
- формується нове покоління (селекція);
- якщо виконуються умови закінчення циклу – останнє покоління приймається в якості рішення, якщо ні – цикл виконується знову.

Після визначення розв'язку оптимізаційної задачі (6)–(8) за описаним вище генетичним алгоритмом необхідно визначити детерміновані значення коефіцієнтів на визначених інтервалах в конкретний момент часу t_1 . Ця задача є зворотною до попередньої та записується наступним чином:

$$\begin{aligned}
 P(t_1) &= D_0 + D_1 U(t_1) + D_2 U^2(t_1), \\
 d_0 + e_0 &\geq D_0 \geq d_0 - e_0, \quad d_1 + e_1 \geq D_1 \geq d_1 - e_1, \\
 d_2 + e_2 &\geq D_2 \geq d_2 - e_2, \\
 Q(t_1) &= F_0 + F_1 U(t_1) + F_2 U^2(t_1), \\
 f_0 + g_0 &\geq F_0 \geq f_0 - g_0, \quad f_1 + g_1 \geq F_1 \geq f_1 - g_1, \\
 f_2 + g_2 &\geq F_2 \geq f_2 - g_2. \quad (9)
 \end{aligned}$$

Для рішення цієї задачі також застосовується генетичний алгоритм [6]. Отримані розв'язки

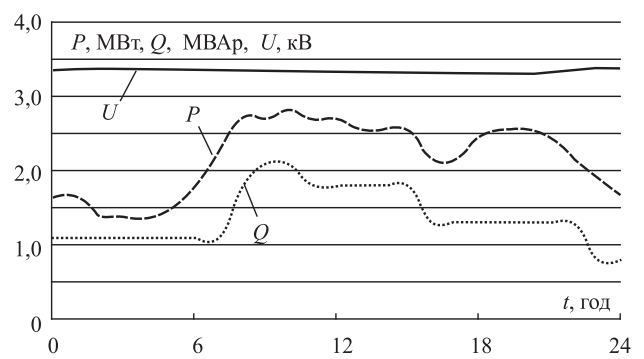


Рис. 1. Добові графіки $U(t)$; $P(t)$; $Q(t)$ у вузлі мережі власних потреб ГЕС

Таблиця 1. Параметри експериментальної вибірки

Час t_1 , год:хв	U , кВ	P , МВт	Q , МВАр	U , в.о.	U^2 , в.о.	P , в.о.	Q , в.о.
04.03.2016 0:00	3,34	1,65	1,1	1,06	1,124	0,66	0,44
04.03.2016 6:00	3,34	1,8	1,1	1,06	1,124	0,72	0,44
04.03.2016 12:00	3,31	2,7	1,8	1,052	1,107	1,08	0,72
04.03.2016 18:00	3,30	2,45	1,3	1,047	1,096	0,98	0,52
05.03.2016 0:00	3,35	1,65	0,8	1,065	1,134	0,66	0,32
			СУМА	5,284	5,584	4,1	2,44

представляють собою вектори $D = \{D_0, D_1, D_2\}$ та $F = \{F_0, F_1, F_2\}$ з яких визначаються шукані коефіцієнти: $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ для складу навантаження мережі власних потреб в момент часу t_1 . Для $U = 1$:

$$\begin{aligned}
 P &= P_0 = D_0 + D_1 + D_2, \\
 Q &= Q_0 = F_0 + F_1 + F_2, \quad (10)
 \end{aligned}$$

звідки з урахуванням того, що сума коефіцієнтів статичної характеристики дорівнює одиниці [1, 3] визначаються коефіцієнти:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= D_0/P_0, \quad a_1 = D_1/P_0, \quad a_2 = D_2/P_0, \\
 b_0 &= F_0/Q_0, \quad b_1 = F_1/Q_0, \quad b_2 = F_2/Q_0,
 \end{aligned}$$

які визначають статичні характеристики навантаження мережі власних потреб ГЕС $P(U)$ та $Q(U)$ для складу навантаження в розглядуваний момент часу t_1 .

Приклад. У вузлі навантаження мережі власних потреб ГЕС відомі залежності напруги, активної та реактивної потужності від часу протягом однієї доби (Рис. 1).

За цими режимними даними можна сформулювати експериментальну вибірку (5) для визначення інтервальних коефіцієнтів статичних характеристик $P(U)$ та $Q(U)$. Нехай вибірка складається з $n = 5$ вимірів в моменти часу 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 24:00. Значення U, P, Q в ці моменти часу приведено до базисних величин $S_6 = 2,5$ МВА, $U_6 = U_H = 3,15$ кВ. Результати зведені в Табл. 1.

Таким чином, задача лінійного програмування приймає наступний вигляд. Для визначення інтервальних коефіцієнтів статичної характеристики $P(U)$:



- цільова функція:

$$F_p = e_0 n + e_1 \sum_{i=1}^N U_i + e_2 \sum_{i=1}^N U_i^2 =$$

$$= 5e_0 + 5,284 e_1 + 5,584 e_2 \rightarrow \min$$

- обмеження:

$$d_0 + 1,06 d_1 + 1,124 d_2 + e_0 + 1,06 e_1 + 1,124 e_2 \geq 0,66,$$

$$d_0 + 1,06 d_1 + 1,124 d_2 - e_0 - 1,06 e_1 - 1,124 e_2 \leq 0,66,$$

$$d_0 + 1,06 d_1 + 1,124 d_2 + e_0 + 1,06 e_1 + 1,124 e_2 \geq 0,72,$$

$$d_0 + 1,06 d_1 + 1,124 d_2 - e_0 - 1,06 e_1 - 1,124 e_2 \leq 0,72,$$

$$d_0 + 1,052 d_1 + 1,107 d_2 + e_0 + 1,052 e_1 + 1,107 e_2 \geq 1,08,$$

$$d_0 + 1,052 d_1 + 1,107 d_2 - e_0 - 1,052 e_1 - 1,107 e_2 \leq 1,08,$$

$$d_0 + 1,047 d_1 + 1,096 d_2 + e_0 + 1,047 e_1 + 1,096 e_2 \geq 0,98,$$

$$d_0 + 1,047 d_1 + 1,096 d_2 - e_0 - 1,047 e_1 - 1,096 e_2 \leq 0,98,$$

$$d_0 + 1,065 d_1 + 1,134 d_2 + e_0 + 1,065 e_1 + 1,134 e_2 \geq 0,66,$$

$$d_0 + 1,065 d_1 + 1,134 d_2 - e_0 - 1,065 e_1 - 1,134 e_2 \leq 0,66,$$

$$0,756 \geq d_0 \geq -0,54, 1,62 \geq d_1 \geq 0,324, 0,54 \geq d_2 \geq 0,$$

$$e_0 \geq 0, e_1 \geq 0, e_2 \geq 0.$$

Для визначення інтервальних коефіцієнтів статичної характеристики $Q(U)$:

- цільова функція:

$$F_Q = g_0 n + g_1 \sum_{i=1}^N U_i + g_2 \sum_{i=1}^N U_i^2 =$$

$$= 5 g_0 + 5,284 g_1 + 5,584 g_2 \rightarrow \min$$

- обмеження:

$$f_0 + 1,06 f_1 + 1,124 f_2 + g_0 + 1,06 g_1 + 1,124 g_2 \geq 0,44,$$

$$f_0 + 1,06 f_1 + 1,124 f_2 - g_0 - 1,06 g_1 - 1,124 g_2 \leq 0,44,$$

$$f_0 + 1,06 f_1 + 1,124 f_2 + g_0 + 1,06 g_1 + 1,124 g_2 \geq 0,44,$$

$$f_0 + 1,06 f_1 + 1,124 f_2 - g_0 - 1,06 g_1 - 1,124 g_2 \leq 0,44,$$

$$f_0 + 1,052 f_1 + 1,107 f_2 + g_0 + 1,052 g_1 + 1,107 g_2 \geq 0,72,$$

$$f_0 + 1,052 f_1 + 1,107 f_2 - g_0 - 1,052 g_1 - 1,107 g_2 \leq 0,72,$$

$$f_0 + 1,047 f_1 + 1,096 f_2 + g_0 + 1,047 g_1 + 1,096 g_2 \geq 0,52,$$

$$f_0 + 1,047 f_1 + 1,096 f_2 - g_0 - 1,047 g_1 - 1,096 g_2 \leq 0,52,$$

$$f_0 + 1,065 f_1 + 1,134 f_2 + g_0 + 1,065 g_1 + 1,134 g_2 \geq 0,32,$$

$$f_0 + 1,065 f_1 + 1,134 f_2 - g_0 - 1,065 g_1 - 1,134 g_2 \leq 0,32,$$

$$9,432 \geq g_0 \geq 3,888, -10,368 \geq g_1 \geq -18,864,$$

$$10,152 \geq g_2 \geq 6,912, f_0 \geq 0, f_1 \geq 0, f_2 \geq 0.$$

Для розв'язання отриманих оптимізаційних задач з використанням генетичного алгоритму в MATLAB застосовано стандартний "солвер": Genetic Algorithm. В результаті рішення першої оптимізаційної задачі (мінімум цільової функції F_p знайдено за 51 ітерацію і дорівнює 1,086) визначено:

$$d_0 = -0,421, d_1 = 1,155, d_2 = 0,062,$$

$$e_0 = 0,078, e_1 = 0,118, e_2 = 0,012$$

При цьому інтервальні значення коефіцієнтів D складуть:

$$D_0 \in [d_0 - e_0; d_0 + e_0] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_0 \in [-0,421 - 0,078; -0,421 + 0,078] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_0 \in [-0,499; -0,343],$$

$$D_1 \in [d_1 - e_1; d_1 + e_1] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_1 \in [1,155 - 0,118; 1,155 + 0,118] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_1 \in [1,037; 1,273],$$

$$D_2 \in [d_2 - e_2; d_2 + e_2] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_2 \in [0,062 - 0,012; 0,062 + 0,012] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_2 \in [0,05; 0,074].$$

В результаті рішення другої оптимізаційної задачі (мінімум цільової функції F_Q знайдено за 54 ітерації і дорівнює 1,123) визначено:

$$f_0 = 3,897, f_1 = -10,633, f_2 = 7,032,$$

$$g_0 = 0,029, g_1 = 0,185, g_2 = 0.$$

При цьому інтервальні значення коефіцієнтів складуть:

$$F_0 \in [f_0 - g_0; f_0 + g_0] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_0 \in [3,897 - 0,029; 3,897 + 0,029] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_0 \in [3,868; 3,926],$$

$$F_1 \in [f_1 - g_1; f_1 + g_1] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1 \in [-10,636 - 0,185; -10,633 + 0,185] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1 \in [-10,818; -10,448],$$

$$F_2 \in [f_2 - g_2; f_2 + g_2] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_2 \in [7,032 - 0,7; 7,032 + 0] \Rightarrow F_2 = 7,032.$$

Визначимо точні значення коефіцієнтів статичних характеристик $P(U)$ та $Q(U)$ на отриманих нечітких інтервалах в момент часу 04.03.16 в 00:00. Постановка задачі для визначення коефіцієнтів a_0, a_1, a_2 виглядає наступним чином:

$$P(t_1) = D_0 + D_1 U(t_1) + D_2 U^2(t_1),$$

$$-0,343 \geq D_0 \geq -0,499, 1,273 \geq D_1 \geq 1,037,$$

$$0,074 \geq D_2 \geq 0,05. \quad (11)$$

Для вирішення отриманої задачі використано той самий "солвер" Genetic Algorithm. При цьому рівняння (11) представлено у вигляді цільової функції з обмеженням у вигляді нерівності. З урахуванням цього, задача ідентифікації коефіцієнтів статичних характеристик приймає вигляд:

$$D_0 + 1,06 D_1 + 1,124 D_2 - 0,66 \rightarrow \min,$$

$$D_0 + 1,06 D_1 + 1,124 D_2 \geq 0,66,$$

$$-0,343 \geq D_0 \geq -0,499, 1,273 \geq D_1 \geq 1,037,$$

$$0,074 \geq D_2 \geq 0,05.$$

В результаті рішення оптимізаційної задачі (мінімум цільової функції знайдено за 51 ітерацію і дорівнює 0), отримано:

$$D_0 = -0,497, D_1 = 1,037, D_2 = 0,05$$

Виходячи з того, що $a_0 + a_1 + a_2 = 1$ при $U = 1$ отримано:

$$P = P_0 = D_0 + D_1 + D_2 = -0,497 + 1,037 + 0,05 = 0,59$$



Тоді коефіцієнти статичного навантаження складають:

$$a_0 = D_0/P_0 = -0,497/0,59 = -0,842,$$

$$a_1 = D_1/P_0 = 1,037/0,59 = 1,757,$$

$$a_2 = D_2/P_0 = 0,05/0,59 = 0,085,$$

Статична характеристика вузла навантаження $P(U)$ за таких значень коефіцієнтів має вигляд:

$$P(U) = P_0 (a_0 + a_1 U + a_2 U^2) = 0,59(-0,842 + 1,757 U + 0,085 U^2)$$

Постановка задачі для визначення коефіцієнтів b_0, b_1, b_2 виглядає наступним чином:

$$Q(t_1) = F_0 + F_1 U(t_1) + F_2 U^2(t_1),$$

$$3,926 \geq F_0 \geq 3,868, \quad 1,273 \geq D_1 \geq 1,037,$$

$$0,074 \geq D_2 \geq 0,05.$$

Задача вирішується аналогічно попередній. Мінімум цільової функції знайдено за 51 ітерацію і дорівнює $-0,001$. В результаті отримано:

$$F_0 = 3,895, \quad F_1 = -10,717, \quad F_2 = 7,032.$$

Виходячи з того, що $b_0 + b_1 + b_2 = 1$ при $U = 1$ отримано:

$$Q = Q_0 = F_0 + F_1 + F_2 = 3,895 - 10,717 + 7,032 = 0,21$$

Тоді коефіцієнти статичного навантаження складають:

$$b_0 = F_0/Q_0 = 3,895/0,21 = 18,548$$

$$b_1 = F_1/Q_0 = -10,717/0,21 = -51,033,$$

$$b_2 = F_2/Q_0 = 7,032/0,21 = 33,485,$$

Статична характеристика вузла навантаження $Q(U)$ за таких значень коефіцієнтів має вигляд:

$$Q(U) = Q_0 (b_0 + b_1 U + b_2 U^2) = 0,21(18,548 - 51,033 U + 33,485 U^2)$$

Графіки визначених статичних характеристик для складу навантаження в момент часу 04.03.16 в 00:00 представлені на Рис. 2.

Висновки. Розроблений метод інтервальної оцінки коефіцієнтів статичних характеристик навантаження представляє собою оптимізаційну задачу з обмеженнями у формі нерівностей. Перевагою цього методу є використання доступної режимної інформації, яка дозволяє достовірно визначити потужності вузлів електричної мережі для фактичного складу навантаження, який в умовах

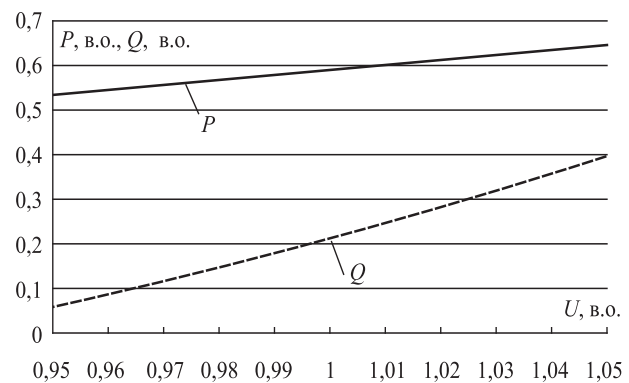


Рис. 2. Статичні характеристики навантаження $P(U)$ та $Q(U)$

експлуатації змінюється у часі. Метод доцільно використовувати при вирішенні задачі визначення слабких елементів мережі власних потреб ГЕС оскільки він враховує особливості її функціонування. Використання методу не обмежується розрахунками усталених режимів мереж власних потреб ГЕС - його доцільно використовувати для уточнення статичних характеристик інших промислових вузлів навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конюхова Е.А. Выбор мощности батарей конденсаторов в цеховых сетях промышленных предприятий с учетом режимов напряжения / Е.А. Конюхова // Электричество. – 1998. – № 1. – С. 18–25.
2. Гуревич Ю.Е. Устойчивость нагрузки электрических систем / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова, Э.А. Хачатрян. - М.: Энергоиздат, 1981. – 209 с.
3. Горбунова Л.М. Экспериментальное определение характеристик загрузки энергосистем / Л.М. Горбунова, Ю.Е. Гуревич. – М.: Энергия, 1967. – 178 с.
4. Костерев М.В. Застосування інтервального методу для ідентифікації параметрів еквівалентного двигунового навантаження / М.В. Костерев, В.В. Літвінов // Восточно-Европейский журнал передовых технологии. Процессы управления. – 2015. – № 1/3 (73). – С. 15–20.
5. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. - М.: Мир, 1993. - 368 с.
6. Гладков Л.А. Бионспирированные методы в оптимизации / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
7. Finding large cliques in arbitrary graphs by bipartite matching. Cliques, coloring, and satisfiability / E. Balash, W. Niehaus // DIMACS Discrete Mathematical Theoretical Computer Science. – 1996. – Vol. 26. – P. 29–49.

