

Чайковська Є. Є.,
Стефанюк В. В.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА БІОГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

В роботі на основі запропонованої когенераційної системи розроблено метод підтримки температури місцевої води при вимірюванні температури зворотної води та температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника контуру охолодження двигуна. Прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника при збереженні постійними витрати теплоносіїв дозволяє узгоджувати функціонування біогазової установки та когенераційної системи з використанням теплового насоса, для якого низькопотенційним джерелом енергії є зброжене сусло.

Ключові слова: когенераційна система, біогазове паливо, тепловий насос.

1. Вступ

Однією з переваг когенераційних технологій, що виробляють як електричну енергію, так і теплоту від одного первинного джерела енергії, є можливість використання біогазу як альтернативного джерела енергії [1, 2]. Але цілодобове функціонування біогазових установок при непостійному виходу біогазу, що обумовлено складністю визначення точного терміну зміни потоків свіжої та зброженої сировини та відключення когенераційних систем в години найменшого споживання потребує додаткового обладнання для зберігання біогазу та зброженої сировини. Більш того, при непостійності споживання електричної енергії та теплоти та при використанні до 20–30 % виробленої енергії на підтримку процесу збродження складно забезпечити заданий температурний режим підігріву місцевої води в контурі охолодження двигуна щодо можливості подальшого використання теплоносія в системі когенерації. Цим обґрунтовується актуальність даної роботи.

2. Постановка проблеми на основі літературних джерел

Різноманітні засоби удосконалення когенераційних технологій мають у своєму складі такі основні складові: первинний двигун, електрогенератор, систему утилізації теплоти, систему контролю й управління. Так, в роботі [3] представлені інтегральні характеристики економічності головних теплотехнічних параметрів в когенераційно-теплонасосних установках, що дозволяють проводити аналіз ефективності теплових схем для вибору оптимального енергетичного обладнання у їх складі, але тільки у статичних режимах. Так, наприклад, в роботі [4] на основі проведеного економічного аналізу запропонованих когенераційно-теплонасосних схем визначена доцільність підключення теплових насосів при використанні газопоршневих двигунів та газотурбінних установок щодо економії природного палива. Але, не завжди можливо забезпечити узгодження виробництва електричної енергії та теплоти на основі статичної оцінки параметрів технологічного процесу

когенерації в складних умовах незбігу їх споживання. Для цього використовують ускладнені теплові схеми за рахунок встановлення додаткових теплообмінників та теплоаккумуляторів. Наприклад, у своєму складі мають значний комплекс енергообладнання стаціонарні системи гарячого водопостачання на основі когенераційно-теплонасосних технологій. Також потребує додаткових капіталовкладень використання колектора стічних вод, які запропоновані у якості низькопотенційного джерела енергії [5]. Так, в роботі [6] доказана доцільність використання ексергетичного аналізу щодо оптимізації когенераційних систем також на статичному рівні. В роботі [7] визначені ексергетичні втрати в елементах когенераційних установок з використанням теплових насосів, але при прийнятому допущенні щодо роздільної виробітки електричної енергії та теплоти, що не може бути використано в повній мірі в реальних умовах функціонування когенераційної системи. Так, в [8] запропоновано використання теорії графів для можливості встановлення оптимальних взаємовідносин між складовими когенераційної системи з ціллю оптимізації системи в цілому, але також без узгодження із споживанням. Запропоновані засоби удосконалення когенераційних технологій не враховують необхідності підтримки функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи щодо можливості узгодження виробництва та споживання енергії з використанням теплового насоса, низькопотенційним джерелом енергії для якого є зброжене сусло. Розроблено інтегровану систему оцінки зміни температури збродження, на основі якої можливо приймати рішення на встановлення температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник, вбудований в метантенк, при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на виході із теплообмінника, що надає можливість забезпечити постійний вихід біогазу завдяки встановленій можливості зміни еквівалентних потоків зброженого та свіжого матеріалу. Використано тепловий насос, низькопотенційним джерелом енергії для якого є зброжене сусло [9]. Для узгодження виробництва та споживання енергії необхідно прогнозувати зміну температури місцевої води в контурі охолодження двигуна для узгодження із виробництвом біогазу при

вимірюванні температури зворотної води та температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник контуру охолодження двигуна та на виході з теплообмінника.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — когенераційні системи з використанням біогазу.

Мета роботи — розробка методу підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі щодо узгодження виробництва та споживання енергії при використанні теплового насоса для підтримки процесу зброджування, відвантаженні зброженого сусла, завантаженні свіжого матеріалу, низькопотенційним джерелом енергії для якого є зброжене сусло.

Поставлена мета може бути досягнена при виконанні таких задач:

- обґрунтувати необхідність узгодження виробництва та споживання енергії в умовах функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі;
- запропонувати архітектуру когенераційної системи, що має у своєму складі основу — динамічну підсистему, яка включає теплообмінник системи охолодження двигуна, біогазову установку, тепловий насос, для якого низькопотенційним джерелом енергії є зброжене сусло, блоки заряду, розряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою;
- виконати комплексне математичне моделювання динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо здобуття гранично припустимої оцінки зміни температури місцевої води;
- розробити системи контролю працездатності та ідентифікації стану теплообмінника системи охолодження двигуна щодо прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника на основі логічного моделювання у складі когенераційної системи;
- розробити інтегровану систему прийняття рішень на підтримку функціонування когенераційної системи щодо узгодження виробництва та споживання енергії при забезпеченні постійними витрати теплоносіїв;
- оцінити практичну значущість здобутих результатів.

4. Метод підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі

Запропонована архітектура когенераційної системи на основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем [9, 10]. Базою цієї системи є інтегрована динамічна підсистема — теплообмінник контуру охолодження двигуна, біогазова установка, тепловий насос, що використовує зброжене сусло у якості низькопотенційного джерела енергії та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності (рис. 1).

За допомогою формули (1) описано математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи [9, 10]:

$$CS = \left\{ \begin{array}{l} [D(P(\tau) \langle x_0(\tau), x(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau) \rangle), R(\tau), P(\tau))], \\ Z(\tau), (P_i(\tau) \langle x_i(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau) \rangle) \end{array} \right\} \quad (1)$$

де CS — когенераційна система; D — динамічна підсистема (теплообмінник контуру охолодження двигуна, біогазова установка, тепловий насос); P — властивості елементів когенераційної системи; t — час, s ; x — впливи; f — параметри, що діагностуються; K — коефіцієнти математичного опису; y — вихідні параметри; d — динамічні параметри; R, Z — логічні відносини в D, CS , відповідно. Індекси: i — число елементів когенераційної системи; $0, 1, 2$ — початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

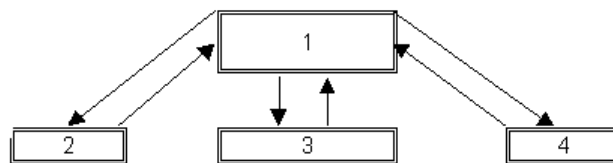


Рис. 1. Архітектура когенераційної системи: 1 — динамічна підсистема (теплообмінник контуру охолодження двигуна, біогазова установка, тепловий насос); 2 — блок розряду; 3 — блок заряду; 4 — блок оцінки функціональної ефективності

Система диференціальних рівнянь, що описує зміну температури місцевої води як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника контуру охолодження двигуна, що співпадає з напрямком потоку руху середовища, включає рівняння стану щодо фізичної моделі теплообмінника, рівняння енергії передавального середовища — теплоносія, що гріє, рівняння енергії сприймаючого середовища — місцевої води та рівняння теплового балансу для стінки теплообмінника. Для підтримки функціонування когенераційної системи в результаті реалізації системи нелінійних диференціальних рівнянь отримана передатна функція за каналом: «температура місцевої води — температура теплоносія, що гріє»:

$$W_{t-\vartheta_1} = \frac{K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{L_b \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma_1 \xi}), \quad (2)$$

де:

$$K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}; \quad \varepsilon = \frac{\alpha_{30} h_{30}}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad L_3^* = \frac{1}{L_3 + 1};$$

$$L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}}; \quad L_b = \frac{G_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad \beta = T_m S + \varepsilon^* + 1;$$

$$T_m = \frac{g_m C_m}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad \varepsilon^* = \varepsilon(1 - L_3^*); \quad \gamma = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{L_b \beta};$$

$$T_b = \frac{g_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad L_b = \frac{G_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \quad \gamma_1 = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{\beta}; \quad \xi = \frac{z}{L_b},$$

де t, σ, θ — температура місцевої води, теплоносія, що гріє, стінки теплообмінника, K , відповідно; G — витрата речовини, kg/c ; α — коефіцієнт тепловіддачі, $kW/(m^2 \cdot K)$; h — питома поверхня, m^2/m ; C — питома теплоємність, $kJ/(kg \cdot K)$; T_m — постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність місцевої води, метала, s , відповідно; S — параметр перетворення Лапласа; $S = \omega j$;

ω – частота, 1/с; g – питома маса речовини, кг/м; T_B, m – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати; z – координата довжини теплообмінника, м. Индекси: z – зовнішній потік – теплоносій, що гріє; v – внутрішній потік – місцева вода; m – металева стінка; $0, 1$ – початкові умови, вхід в теплообмінник, відповідно.

Виділено дійсну частину, $O(\omega)$ для використання передатної функції щодо математичного моделювання динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна:

$$O(\omega) = \frac{(L_1 A_1) + (M_1 B_1) K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{(A_1^2 + B_1^2)} \quad (3)$$

До складу коефіцієнта K_3 входить температура поділяючої стінки θ :

$$\theta = (\alpha_3 (\sigma_1 + \sigma_2) / 2) + (A(t_1 + t_2) / 2) / (\alpha_3 + A), \quad (4)$$

де σ_1, σ_2 – температура теплоносія, що гріє, на вході, та на виході із теплообмінника, К, відповідно; $A = 1 / (\delta_m / \lambda_m + 1 / \alpha_v)$, де δ – товщина стінки теплообмінника, м; α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); λ – теплопровідність металу стінки теплообмінника, кВт/(м·К); t_1, t_2 – температура зворотної води на вході та на виході з теплообмінника, К, відповідно. Индекси: z – зовнішній потік – теплоносій; v – внутрішній потік – місцева вода, що гріє.

У складі дійсної частини $O(\omega)$ для одержання коефіцієнтів здобуто наступні вирази:

$$A_1 = \varepsilon^* - T_B T_M \omega^2; \quad A_2 = \varepsilon^* + 1;$$

$$B_1 = T_B \varepsilon \omega + T_B \omega + T_M \omega; \quad B_2 = T_M \omega;$$

$$C_1 = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}; \quad D_1 = \frac{A_2 B_1 - A_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2};$$

$$L_1 = 1 - e^{-\zeta C_1} \cos(-\xi D_1); \quad M_1 = -e^{-\zeta C_1} \sin(-\xi D_1).$$

З використанням інтеграла переходу з частотної області до області часу зміна температури місцевої води як за часом, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника визначена так:

$$t(\tau, z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty O(\omega) \sin(\tau\omega/\omega) d\omega. \quad (5)$$

Так, наприклад, для узгодження виробництва та споживання електричної енергії та теплоти, наприклад, для біогазової установки, що виробляє 352,5 м³/добу біогазу у складі когенераційної системи когенераційної установки типу GTK 35 М потужністю 112 кВт, в тому числі з електричною потужністю 35 кВт та тепловою потужністю 60 кВт встановлені наступні рівні функціонування пластинчастого теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо зміни температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник та на виході

з теплообмінника: перший рівень: 95–75 °С; другий рівень: 90–70 °С; третій рівень: 85–65 °С для підігріву місцевої води з 30 °С до 55 °С при підключенні 14, 18 та 28 пластин, відповідно. В табл. 1, 2 представлені результати комплексного моделювання динаміки біогазової установки, теплообмінника, збудованого в метантенк [9] та динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо підтримки температури місцевої води.

Таблиця 1

Параметри теплообміну в теплообміннику контуру охолодження двигуна

| Рівні функціонування | Параметр | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| | α_3 , Вт/(м ² ·К) | α_v , Вт/(м ² ·К) | k , Вт/(м ² ·К) |
| Перший рівень | 9039,02 | 4793,81 | 2853,20 |
| Другий рівень | 7218,19 | 4140,46 | 2431,27 |
| Третій рівень | 5025,52 | 3140,93 | 1822,78 |

Примітка: α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія, що гріє до стінки теплообмінника, Вт/(м²·К); α_v – коефіцієнт тепловіддачі від стінки теплообмінника до місцевої води, Вт/(м²·К); k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К)

Таблиця 2

Значення постійних часу та коефіцієнтів математичної моделі динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна

| Рівні функціонування | $T_{в,с}$ | $T_{м,с}$ | ε | ε^* | $L_3, м$ | $L_v, м$ | L_3^* | ζ |
|----------------------|-----------|-----------|---------------|-----------------|----------|----------|---------|---------|
| Перший рівень | 1,01 | 0,79 | 2,28 | 2,11 | 12,2 | 22,36 | 0,075 | 1,92 |
| Другий рівень | 1,17 | 0,82 | 2,11 | 1,98 | 15,2 | 25,83 | 0,061 | 1,97 |
| Третій рівень | 1,55 | 1,22 | 1,94 | 1,85 | 21,9 | 33,99 | 0,043 | 2,14 |

З використанням математичної моделі динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо аналітичної оцінки зміни температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування визначені допуски на гранично припустиму працездатність когенераційної системи (рис. 2).

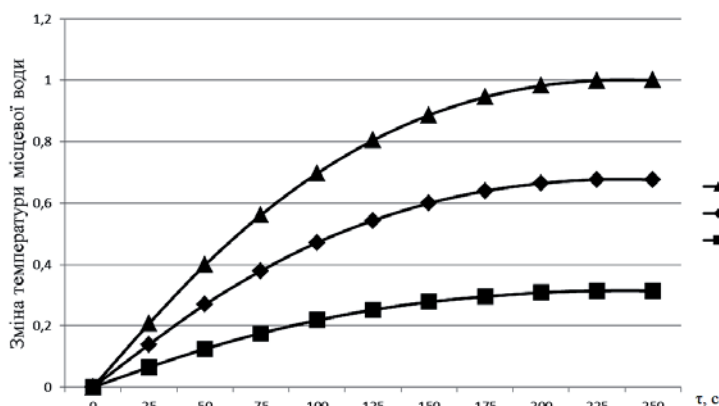


Рис. 2. Допуски на гранично припустиму працездатність когенераційної системи: 1 – еталон першого рівня функціонування; 2 – еталон другого рівня функціонування; 3 – еталон третього рівня функціонування

З використанням метода графа причинно-наслідкових зв'язків [9, 10] отримано підсумкову інформацію щодо оцінки зміни температури місцевої води при розряді, наприклад, біогазової установки, що супроводжується зменшенням витрат електричної енергії на привід теплового насоса та відповідає заряду когенераційної системи, який підтверджений зменшенням температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник системи охолодження двигуна та на виході з теплообмінника при збільшенні температури зворотної води:

$$\begin{aligned} & (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau)/\Delta t_{\text{ст. розр. верх}}(\tau) < \\ & < \Delta t_{\text{ст. розр. рівн}}(\tau)/\Delta t_{\text{ст. розр. верх}}(\tau) > 0)), \end{aligned} \quad (6)$$

де CT — контроль події; τ — час, с; t — температура місцевої води, °C. Індекси: c — контроль працездатності; розр. рів. — розрахункове значення температури місцевої води рівня функціонування; ст., розр., верх. — стале, розрахункове значення температури місцевої води першого рівня функціонування.

Так, при зміні температури теплоносія, що гріє, в системі охолодження двигуна, наприклад, в межах 89–79 °C та збільшенні температури зворотної води до 35 °C, що характеризує зменшення витрат електричної енергії на привід теплового насоса необхідно прийняти рішення на заряд когенераційної системи щодо збільшення кількості пластин теплообмінника з 14 до 18 та перевірити правильність прийняття рішення в нових умовах функціонування щодо підтримки температури місцевої води на рівні 55 °C для подальшого використання в системі виробництва теплоти (рис. 3). Встановлення нового режиму функціонування когенераційної системи свідчить про зменшення витрат

електричної енергії на привід теплового насоса щодо підтримки процесу збродження [9, 10].

На основі розроблених систем контролю працездатності та ідентифікації стану теплообмінника системи охолодження двигуна для фіксованого інтервалу часу [10] розроблено інтегровану систему підтримки функціонування когенераційної системи (табл. 3, рис. 4), що надає можливість на основі аналітичної оцінки зміни температури місцевої води приймати рішення на зміну кількості пластин теплообмінника системи охолодження двигуна при безперервному вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на вході та на виході з теплообмінника та температури зворотної води. Запропонована система дозволяє узгоджувати заряд — розряд когенераційної системи впродовж терміну розряду — заряду біогазової установки щодо виходу біогазу та підтримувати визначений точний термін відвантаження збродженого матеріалу та завантаження свіжого суслу [9] щодо забезпечення підтримки розряду когенераційної установки.

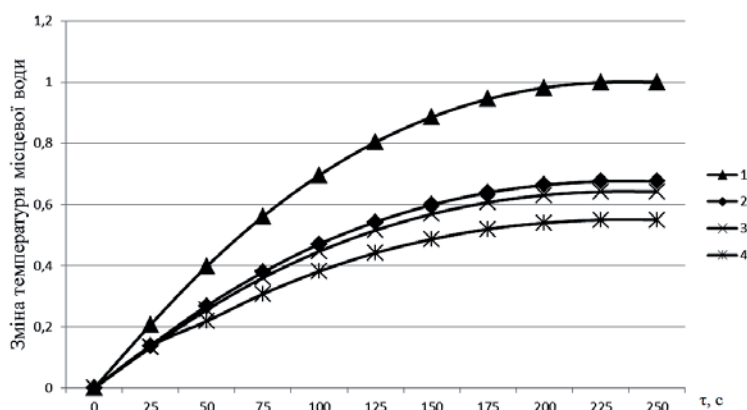


Рис. 3. Контроль працездатності та ідентифікація стану когенераційної системи щодо переходу з першого рівня функціонування на другий; 1, 2 — допуски першого та другого рівнів функціонування, відповідно; 3, 4 — прийняття рішення та ідентифікація нових умов функціонування щодо зміни кількості пластин з 14 до 18

Таблиця 3

Інтегрована система підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі

| Зміна температури місцевої води | Час, τ , 100 с | | | | |
|--|---------------------|--------|--------|--------|---------|
| | 11–22 | 33 | 44 | 55 | 66 |
| Підтримка завантаження свіжого матеріалу. Розряд. Прийняття рішення на включення 14 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | 1 | — | — | — | — |
| Заряд — розряд: $t_{3, \text{вх}} = 92 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | 0,8353 | — | — | — |
| Прийняття рішення на включення 18 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 92 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 72 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | — | 0,6226 | — | — |
| Ідентифікація нових умов функціонування: $t_{3, \text{вх}} = 92 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 72 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | — | — | 0,6226 | — |
| Заряд — розряд: $t_{3, \text{вх}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 72 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | — | — | — | 0,5131 |
| Зміна температури місцевої води | Час, τ , 100 с | | | | |
| | 77 | 88 | 99 | 110 | 121–132 |
| Заряд — розряд: $t_{3, \text{вх}} = 86 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 68 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | 0,3878 | — | — | — | — |
| Прийняття рішення на включення 28 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 67 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | 0,2741 | — | — | — |
| Ідентифікація нових умов функціонування: $t_{3, \text{вх}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 67 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | — | 0,2741 | — | — |
| Заряд — розряд: $t_{3, \text{вх}} = 84 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | — | — | 0,1243 | — |
| Підтримка відвантаження збродженого суслу: $t_{3, \text{вх}} = 88 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3, \text{вих}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вх}} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{3 \text{вор, вих}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ | — | — | — | — | 0,0063 |

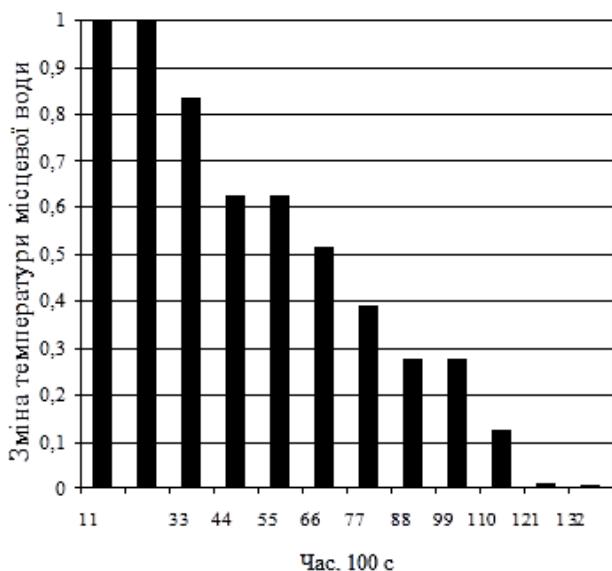


Рис. 4. Інтегрована система підтримки функціонування когенераційної системи: $t_{з.вх}$, $t_{з.вих}$ — температура теплоносія, що гріє, на вході та на виході з теплообмінника системи охолодження двигуна, відповідно, що вимірюється при функціонуванні когенераційної системи; $t_{звор.вх}$, $t_{звор.вих}$ — температура зворотної води на вході та на виході з теплообмінника системи охолодження двигуна, що вимірюється при функціонуванні когенераційної системи

Для підтримки функціонування когенераційної системи можливо рекомендувати розбірний пластинчастий теплообмінник типу Альфа Лаваль Т2 щодо можливості приймати рішення на зміну кількості пластин для підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі при необхідності збереження постійними витрати теплоносіїв.

5. Обговорення результатів дослідження щодо методу підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі

В результаті проведених досліджень розроблено інтегровану систему підтримки функціонування когенераційної системи на основі аналітичної оцінки зміни температури місцевої води при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник контуру охолодження двигуна та на виході із теплообмінника та температури зворотної води. З цією ціллю встановлені допуски на граничну зміну температури місцевої на основі математичного моделювання динаміки пластинчастого теплообмінника для визначених режимів функціонування когенераційної системи, розроблені системи контролю та ідентифікації стану когенераційної системи у фіксований інтервал часу. При розряді — заряді біогазової установки, що супроводжується зміною витрат електричної енергії на привід теплового насоса, відвантаженні зброженого суслу та завантаженні свіжого матеріалу змінюється температура теплоносія, що гріє, в системі охолодження двигуна когенераційної системи та температура зворотної води, що надає можливість приймати упереджені рішення на зміну кількості пластин теплообмінника щодо забезпечення постійними витрати теплоносіїв та температури місцевої води в заданих межах.

Так, наприклад, прийняття рішення на основі включення 18 пластин теплообмінника системи охолодження

двигуна на заряд когенераційної системи в термін часу 4400 с підтримує прийняття рішення на розряд біогазової установки в термін часу 3900 с щодо встановлення температури теплоносія, що гріє на вході в теплообмінник, вбудований в метантенк, на рівні 52,1 °С з використанням теплового насоса, для якого низькопотенційним джерелом енергії є зброжене сусло [9]. Розроблений метод за рахунок узгодження виробництва та споживання енергії надає можливість при підвищенні товарності біогазової установки знизити собівартість виробництва теплоти та електричної енергії та здобути грошову економію за рахунок додатково виробленої енергії. Представлені дослідження є продовженням роботи в напрямку узгодження виробництва та споживання біогазу [9, 10]. Запланована апробація здобутих результатів в умовах когенераційних систем різної потужності.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

1. Когенераційні технології з використанням біогазу потребують інтегрованої системи оцінки зміни температури місцевої води в контурі охолодження двигуна щодо узгодження виробництва та споживання енергії. Для узгодження виробництва та споживання енергії необхідно розробити інтегровану систему оцінки зміни температури місцевої води в контурі охолодження двигуна.
2. Запропоновано архітектуру когенераційної системи, що має у своєму складі основу — динамічну підсистему, яка включає теплообмінник системи охолодження двигуна, біогазову установку, тепловий насос та блоки заряду, розряду та оцінки функціональної ефективності для підтримки функціонування когенераційної системи.
3. Виконано комплексне математичне моделювання динаміки теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо здобуття гранично припустимої оцінки зміни температури місцевої води.
4. Розроблено системи контролю працездатності та ідентифікації стану теплообмінника системи охолодження двигуна щодо прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника на основі логічного моделювання у складі когенераційної системи.
5. Розроблено інтегровану систему прийняття рішень на підтримку функціонування когенераційної системи щодо узгодження виробництва та споживання енергії при забезпеченні постійними витрати теплоносіїв.
6. При використанні запропонованого методу узгодження виробництва та споживання енергії для когенераційної установки, наприклад, типу GTK 35 М з первинною потужністю 112 кВт, що споживає постійний вихід біогазу впродовж додаткового функціонування когенераційної установки до 2000 годин на рік при безперервному виробництві біогазу, можливо здобути зменшення собівартості виробництва енергії до 20–30 %.

Література

1. Ćirić, R. M. Techno-Economic Analysis of Biogas Powered Cogeneration [Text] / R. M. Ćirić, Z. Kuzmanović // Journal of Automation and Control Engineering. — 2014. — Vol. 2, № 1. — P. 89–93. doi:10.12720/joace.2.1.89-93
2. Daingade, P. S. Electronically operated fuel supply system to control air fuel ratio of biogas engine [Text] / P. S. Daingade, S. D. Yadav // 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability. — Institute of

- Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2013. — P. 740–743. doi:10.1109/iceets.2013.6533476
3. Билека, Б. Д. Экономичность когенерационных и комбинированных когенерационно-теплонасосных установок с газопоршневыми и газотурбинными двигателями [Текст] / Б. Д. Билека, Р. В. Сергиенко, В. Я. Кабков // Авиационно-космическая техника и технология. — 2010. — № 7(74). — С. 25–29.
 4. Билека, Б. Д. Использование ГТУ и ГПД в когенерационных системах получения теплоты [Текст] / Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша // Двигатели и энергоустановки аэрокосмических летательных аппаратов. — 2009. — № 7(54). — С. 16–18.
 5. Билека, Б. Д. Когенерационно-теплонасосные технологии в схемах горячего водоснабжения большой мощности [Текст] / Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша // Промышленная теплотехника. — 2012. — Т. 34, № 4. — С. 52–57.
 6. Doseva, N. Advanced exergatic analysis of cogeneration system with a biogas engine [Text] / N. Doseva // 14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies Conference Proceedings. — June 19–25, 2014. — Book 4, Vol. 1. — P. 11–18. doi:10.5593/sgem2014/b41/s17.002
 7. Горобець, В. Г. Ексергетичний аналіз ефективності енергетичних систем для комплексного виробництва електричної та теплової енергії з використанням поновлювальних джерел енергії [Текст] / В. Г. Горобець, Б. Х. Драганов // Відновлювальна енергетика. — 2010. — № 3(22). — С. 5–12.
 8. Dev, N. Development of reliability index for cogeneration cycle power plant using graph theoretic approach [Text] / N. Dev, Samsher, S. S. Kachhwaha, R. Attri // International Journal of System Assurance Engineering and Management. — 2014. — Vol. 5, № 4. — P. 700–710. doi:10.1007/s13198-014-0235-4
 9. Чайковська, Є. Є. Розробка енергозберігаючої технології функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи [Текст] / Є. Є. Чайковська // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2015. — № 3/8(75). — С. 44–49. doi:10.15587/1729-4061.2015.44252
 10. Чайковська, Є. Є. Узгодження виробництва та споживання енергії у складі когенераційної системи [Текст]: зб. наук. пр. / Є. Є. Чайковська, В. В. Стефанюк, І. В. Абросимов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — 2015. — № 46(1155). — С. 63–67.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОДДЕРЖКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БИОГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ

В работе на основе предложенной когенерационной системы разработан метод поддержки температуры местной воды при измерении температуры обратной воды и температуры греющего теплоносителя на входе в теплообменник и на выходе из теплообменника контура охлаждения двигателя. Принятие решений на изменение количества пластин теплообменника при сохранении постоянными расходов теплоносителей позволяет согласовывать функционирование биогазовой установки и когенерационной системы с использованием теплового насоса, для которого низкопотенциальным источником энергии является сброженное сусло.

Ключевые слова: когенерационная система, биогазовое топливо, тепловой насос.

Чайковська Євгенія Євстафіївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com.

Стефанюк Вадим Володимирович, аспірант, кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

Чайковская Евгения Евстафьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент, кафедра теоретической, общей и нетрадиционной энергетики, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Стефанюк Вадим Владимирович, аспирант, кафедра теоретической, общей и нетрадиционной энергетики, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Chaikovskaya Eugene, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: eechaikovskaya@gmail.com.

Stefanuk Vadim, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

УДК 621.311

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.55805

Сиротенко М. А.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ В РАЗВЕТВЛЕННЫХ СЕТЯХ 10 кВ

Предложен метод оптимизации структуры и параметров системы повышения надежности в распределительной сети 10 кВ, который позволяет учитывать возможность наличия в ее составе различных типов указателей поврежденных участков и коммутационных аппаратов. Приведены результаты поиска оптимальных решений как для разветвленных резервированных, так и нерезервированных электросетей.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, надежность, секционирование, эффективность, оптимизация.

1. Введение

Время, в течение которого условный потребитель недополучает электроэнергию, зависит в основном от среднего времени, затрачиваемого бригадой на поиск

места повреждения. При этом средства повышения надежности (СПН), которые влияют на величину времени поиска короткого замыкания (КЗ) в электрических сетях можно условно разделить на две группы: методы и средства определения места повреждения на линии;