

Є. Є. ЧАЙКОВСЬКА

КОНТРОЛЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ПЕЛЕТНОМУ ПАЛИВІ

АНОТАЦІЯ Запропонована інтегрована система підтримки температури місцевої води при вимірюванні температури газів та температури зворотної води на вході в теплообмінник другого контуру когенераційної системи. Прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника надає можливість підтримувати співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти при використанні зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів, для сушки деревини. Такий підхід дозволяє, наприклад, в умовах функціонування когенераційної системи потужністю 115 кВт знизити собівартість виробленої енергії до 20–30 %.

Ключові слова: когенераційна установка, пелетне паливо, контроль працездатності, прийняття рішень.

Е. СЧАЙКОВСКАЯ

CONTROL WORKING ABILITY OF THE COGENERATION SYSTEM ON PELLETT FUEL

ABSTRACT The proposed architecture of the cogeneration system, which is the basis integrated dynamic subsystem – cogeneration plant, heat exchanger secondary circuit heating local water, drying plant, heat exchanger heating the air, the air blower and blocks a charge, discharge, assessment of functional performance that are agreed upon interaction with dynamic subsystem. Complex mathematical modeling of the dynamics of the second circuit of the heat exchanger cogeneration system provides the ability to define tolerances to temperature change local water levels established for the operation. A complex mathematical and logical modeling efficiency cogeneration control system for obtaining functional evaluation of local water temperature changes. Block diagram of temperature maintenance of local water-level decision-making to determine the final information on the decision to change the number plates of the heat exchanger by comparing the temperature of the gases at the inlet to the heat exchanger of the second circuit cogeneration system, measured from the reference value. The proposed integrated system of support for local water temperature for measuring the temperature of gases and return water temperature at the inlet to the heat exchanger of the second circuit of the cogeneration system. Deciding to change the number plate heat exchanger allows to maintain the ratio of production of electricity and heat using changes of rotational speed of the electric fan of air to change the air flow supplied to the heater for drying wood. This approach allows, for example, in terms of functioning cogeneration system capacity of 115 kW reduce the cost of energy produced (20–30) %.

Keywords: cogeneration plant, pellet fuel, control of operation, making decisions.

Вступ

Реалізація виробленої енергії за «зеленим тарифом» при використанні біопалива як відновлюваного джерела енергії є однією з переваг когенераційних технологій щодо виробництва електричної енергії та теплоти від одного первинного джерела енергії [1, 2]. Але непостійність споживання виробленої енергії потребує удосконалення систем підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти в умовах ресурсу та енергозбереження [2]. При виробництві пелетного палива витрати на сушку деревини складають до 25 % від загальних витрат. Вміст вологи не повинен перевищувати 10–12 %, а сира деревина може містити близько 50 % води. В роботі [3], наприклад, визначено перевагу механічної активації матеріалу, що висушується, але за рахунок додаткових витрат на електричну енергію. В роботі [4] визначено, що на якість сушки впливають конструктивні параметри сушильної камери, але оцінка проведена при вимірюванні параметрів сушки в сушильній камері, що у зв'язку із складністю вимірів має недостовірне використання. В роботі [5] визначено вплив режимних параметрів сушки на

якість сушки, але без узгодження температурного та аеродинамічного режимів сушіння матеріалу. В роботах [6, 7] видані рекомендації щодо інтенсифікації теплообміну в сушильній камері, але без можливості їх використання в реальних умовах функціонування сушильної установки. Для підтримки потужності сушки деревини використовують діагностичні системи, що базуються на вимірюванні температури повітря та його вологості в сушильній камері при вимірюванні вологості деревини. Складність вимірів та неможливість використання у єдності може привести до незворотного накопичення вологи деревиною чи припинення процесу сушки [8, 9]. У зв'язку з цим, в роботі [10] запропонована технологія функціонування сушильної установки у складі когенераційної системи щодо виробництва пелетного палива, яка дозволяє підтримувати підігрів повітря в теплообміннику, що входить до її складу, при вимірюванні температури повітря на виході із сушильної камери. Використання інтегрованої системи оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері, здобутої на основі математичного та логічного моделювання у складі когенераційної системи, надає можливість виконувати зміну витрати повіт-

© Є. Є. Чайковська, 2017

ря, що подається на підігрів, на основі зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора та забезпечувати своєчасну подачу висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу. У зв'язку із зміною споживання електричної енергії на сушку деревини щодо зміни частоти обертання повітряного вентилятора необхідно виконувати підтримку температури місцевої води якості теплоносія, що гріє, для підігріву повітря впродовж терміну сушки щодо забезпечення співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти. Цілодобове ж функціонування пелетних установок дозволяє розширити термін функціонування когенераційних систем щодо додаткового вироблення енергії при гарантованому забезпеченні пелетним паливом та встановленому точному терміну відвантаження висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу.

Мета роботи

Мета роботи – розробка інтегрованої системи підтримки температури місцевої води другого контуру когенераційної системи щодо підігріву повітря для сушки деревини в умовах зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора.

Поставлена мета може бути досягнена при виконанні таких задач:

- обґрунтувати необхідність підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти в умовах функціонування когенераційної системи на пелетному паливі при використанні зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів, на сушку деревини з використанням теплоносія, що гріє, від другого контуру когенераційної системи;

- запропонувати архітектуру когенераційної системи, що має у своєму складі основу – динамічну підсистему, яка включає когенераційну установку, теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води, сушильну установку, теплообмінник підігріву повітря, повітряний вентилятор та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою;

- виконати комплексне математичне моделювання динаміки теплообмінника другого контуру когенераційної системи при вимірюванні температури газів та температури зворотної води на вході в теплообмінник;

- запропонувати структурну схему для здобуття еталонної інформації на основі комплексного математичного моделювання у складі когенераційної системи;

- виконати комплексне математичне та логічне моделювання щодо контролю працездатності

когенераційної системи на основі розробленої структурної схеми;

- розробити структурну схему та виконати комплексне математичне та логічне моделювання щодо прийняття рішень на зміну поверхні теплообміну теплообмінника другого контуру когенераційної системи;

- виконати комплексне логічне моделювання щодо ідентифікації нових умов функціонування когенераційної системи на основі розробленої схеми;

- розробити інтегровану систему підтримки температури місцевої води при зміні споживання електричної енергії, що обумовлено зміною частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора;

- оцінити практичну значущість здобутих результатів.

Контроль працездатності когенераційної системи на пелетному паливі

Для здобуття еталонної та функціональної інформації щодо прийняття рішень на підтримку температури місцевої води щодо підігріву повітря запропонована архітектура когенераційної системи, основою якої є інтегрована динамічна підсистема – (когенераційна установка, теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води, сушильна установка, теплообмінник підігріву повітря, повітряний вентилятор) та блоки, заряду, розряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою (рис. 1).

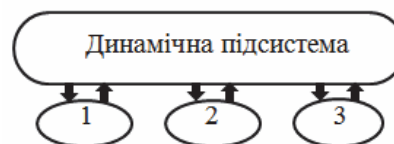


Рис. 1 – Архітектура когенераційної системи: динамічна підсистема (когенераційна установка, теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води, сушильна установка, теплообмінник підігріву повітря, повітряний вентилятор); 1 – блок розряду; 2 – блок заряду; 3 – блок оцінки функціональної ефективності

Математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи:

$$CS = \left\{ \left[D(P(\tau) \langle x_0(\tau), x(\tau) \rangle, f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau)), R(\tau) \right], P(\tau) \right\}, \\ \left\{ Z(\tau), (P_i(\tau) \langle x_1(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau) \rangle) \right\},$$

де CS – когенераційна система; D – динамічна підсистема (когенераційна установка, теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води, сушильна установка, теплообмінник підігріву повітря, повітряний вентилятор); P – властивості елементів когенераційної системи; x – впливи; f – параметри,

що діагностуються; K – коефіцієнти математичного опису; y – вихідні параметри; d – динамічні параметри; R – логічні відносини в CS ; τ – час, с. Індеси: i – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Основою для підтримки температури місцевої води щодо здобуття як гранично припустимої, так і функціональної інформації є математична модель динаміки теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води, що оцінює зміну температури води як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника, що співпадає з напрямком потоку руху середовища. Передатна функція за каналом: «температура місцевої води – температура газів» має такий вид:

$$W_{t-\vartheta_1} = \frac{K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{(T_B S + 1) \beta - 1} (1 - e^{-\gamma \xi}),$$

$$\text{де } K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}, \varepsilon = \frac{\alpha_{30} h_{30}}{\alpha_{B0} h_{B0}}, L_3^* = \frac{1}{L_3 + 1},$$

$$L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}}, T_B = \frac{g_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}}; \beta = T_M S + \varepsilon^* + 1,$$

$$T_M = \frac{g_M C_M}{\alpha_{B0} h_{B0}}, \varepsilon^* = \varepsilon (1 - L_3^*), \gamma = \frac{(T_B S + 1) \beta - 1}{\beta},$$

$$\xi = \frac{z}{L_B}, L_B = \frac{G_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}},$$

де t, σ, θ – температура місцевої води, газів, поділяючої стінки, К, відповідно; G – витрата речовини, кг/с; C – питома теплоємність, кДж/(кг·К); α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); h – питома поверхня, м²/м; g – питома маса речовини, кг/м; z – координата довжини теплообмінника, м; T_B, T_M – постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність робочого тіла, метала, с; m – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати; S – параметр перетворення Лапласа. Індеси: v – внутрішній потік – місцева вода, m – металева стінка, z – зовнішній потік – гази; 0, 1 – початкові умови, вхід в теплообмінник, відповідно.

Після математичної обробки здобутої функції виділено дійсну частину, $O(\omega)$

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

Для одержання коефіцієнтів у складі дійсної частини $O(\omega)$ здобуто такі вирази:

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

$$B_1 = T_B \varepsilon \omega - T_B \omega + T_M \omega, B_2 = T_M \omega,$$

$$C_1 = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}, D_1 = \frac{A_2 B_1 + A_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}$$

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

Температура поділяючої стінки θ , що входить до складу коефіцієнта K_3

$$\theta = \left[\frac{\alpha_B (\sigma_1 + \sigma_2)}{2} + \frac{A(t_1 + t_2)}{2} \right] / (\alpha_B + A),$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); σ_1, σ_2 – температура газів на вході та на виході з теплообмінника, К; t_1, t_2 – температура місцевої води на вході та на виході з теплообмінника, К.

$$A = \frac{1}{\frac{\delta_M}{\lambda_M} + \frac{1}{\alpha_3}},$$

де δ – товщина стінки теплообмінника, м; λ – теплопровідність металу стінки теплообмінника, кВт/(м·К).

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

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

Для здобуття еталонної оцінки зміни температури місцевої води розроблено структурну схему, що представлена для вихідних даних когенераційної системи з використанням сушильної установки продуктивністю 680 кг/добу деревини (рис. 2).

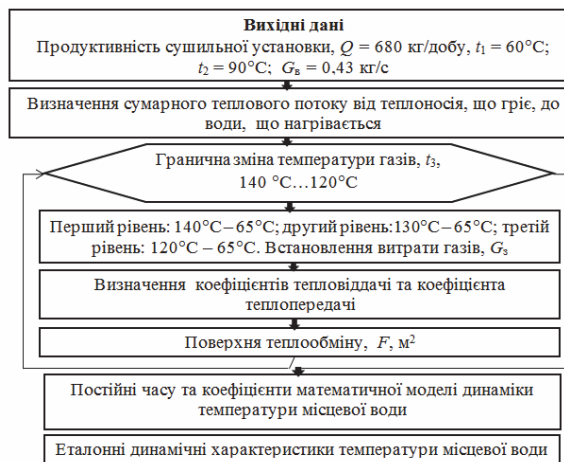


Рис. 2 – Структурна схема комплексного математичного моделювання теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води: G_3, G_g – витрата газів, місцевої води, кг/с, відповідно; t_1, t_2 – температура місцевої води на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, К, відповідно; t_3 – температура газів на вході в теплообмінник, К

В межах запропонованої циклічної структури щодо підтримки температури підігріву місцевої води з 60 °С до 90 °С при граничній зміні температури газів на вході в теплообмінник – 140...120 °С встановлено наступні рівні функціонування когенераційної системи відповідно зміні температури газів на вході в теплообмінник: перший рівень: 140...65 °С; другий рівень: 130...65 °С; третій рі-

вень: 120...65 °С. Встановлені рівні функціонування при температурі газів на виході із теплообмінника – 65 °С відповідають зміні поверхні теплообміну теплообмінника щодо зміни кількості пластин: 36, 44, 52 та зміні витрати газів: 0,69 кг/с, 0,79 кг/с, 0,94 кг/с, відповідно. В табл. 1–3 представлено результати комплексного математичного моделювання динаміки теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води.

Таблиця 1 – Параметри теплообміну в теплообміннику другого контуру когенераційної системи

Рівні функціонування	Параметр		
	$\alpha_{з3}$, Вт/(м ² ·К)	$\alpha_{в3}$, Вт/(м ² ·К)	k_3 , Вт/(м ² ·К)
Перший рівень	3595,7	1027,9	745,7
Другий рівень	3132,8	960,7	732,0
Третій рівень	2754,7	922,0	698,0

Примітка: α_z – 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 – Постійні часу математичної моделі динаміки температури місцевої води

Рівні функціонування	$T_{в3}$, с	$T_{м3}$, с
Перший рівень	4,67	1,52
Другий рівень	4,79	1,62
Третій рівень	4,99	1,69

Таблиця 3 – Коефіцієнти математичної моделі динаміки температури місцевої води

Рівні функціонування	$L_{з3}$, м	$L_{в3}$, м	$L_{з3}^*$	ζ	ϵ
Перший рівень	11,4	114,9	0,08	0,67	4,07
Другий рівень	15,1	123,0	0,06	0,76	3,79
Третій рівень	20,3	128,2	0,05	0,78	3,47

Представлена структурна схема (рис. 2), що базується на комплексному математичному моделюванні теплообмінника другого контуру когенераційної системи надає можливість на основі визначення параметрів теплообміну в теплообміннику та з використанням здобутих постійних часу та коефіцієнтів, що входять до складу математичної моделі динаміки температури місцевої води, визначити гранично припустиму зміну температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування (рис. 3).

Для контролю працездатності когенераційної системи запропоновано структурну схему комплексного математичного та логічного моделювання з використанням метода графа причинно-наслідкових зв'язків [2, 10] щодо здобуття функціональної інформації (рис. 4).

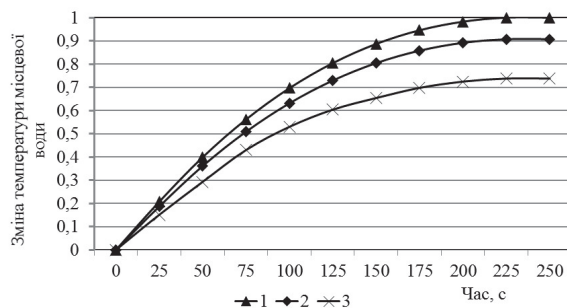


Рис. 3 – Допуски на граничну зміну температури місцевої води: 1, 2, 3 – перший, другий, третій рівні функціонування, відповідно

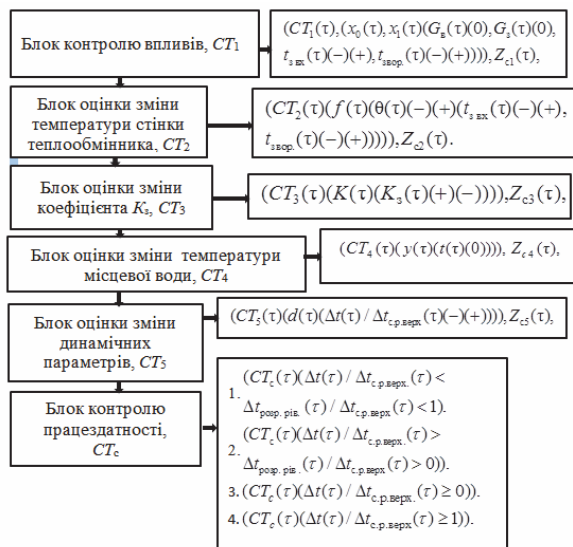


Рис. 4 – Структурна схема комплексного математичного та логічного моделювання: СТ – контроль події; Z – логічні відносини; d – динамічні параметри; t – температура місцевої води, K; t_3 – температура газів, K; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; y – вихідні параметри; K – коефіцієнти математичного опису;

$$K_3 = \frac{m(\theta_0 - t_{3 \text{ вих}})}{G_{30}} \text{ – коефіцієнт математичної}$$

моделі динаміки теплообмінника охолодження газів, де, θ – температура стінки теплообмінника, K, відповідно; G – витрата теплоносія, кг/с; Індеси: с – контроль працездатності; вх., вих. – вхід, вихід газів; звор – зворотна вода; з – гази; в – місцева вода; с.р.верх. – стале розраховує значення параметра першого рівня функціонування; розр. рів. – розрахункове значення параметра рівня функціонування 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішні, внутрішні впливи; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – суттєві параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри



Рис. 5 – Структурна схема підтримки температури місцевої води на рівні прийняття рішень, де $t_{3\text{ vx}}$, $t_{3\text{e vx}}$ – функціональна та еталонна температура газів на вході в теплообмінник підігріву місцевої води, К; i – число рівнів функціонування; τ – час, с

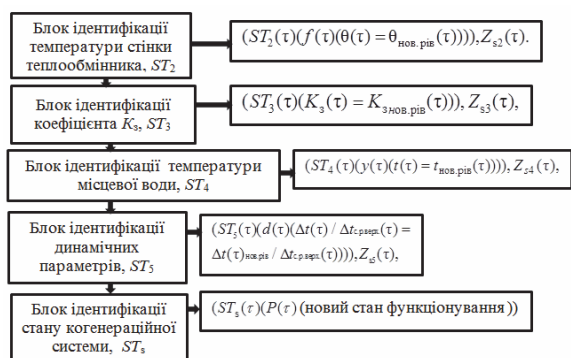


Рис. 6 – Структурна схема логічного моделювання ідентифікації стану когенераційної системи: ST – ідентифікація стану; P – властивості когенераційної системи. Індекси: s – стан; нов. рів. – новий рівень функціонування; 2 – внутрішні параметри, що діагностуються

При безперервному вимірюванні температури газів на вході в теплообмінник підігріву місцевої води, що порівнюються з еталонним значенням рівня функціонування, з використанням логічної структури в межах циклу запропоновано виконувати включення чи відключення пластин теплообмінника щодо підтримки температури місцевої води на основі здобутої інформаційної оцінки (1), (2), відповідно (рис. 5).

Підтвердження правильності прийнятих рішень виконано на основі запропонованої структурної схеми ідентифікації стану когенераційної системи (рис. 6), що розроблена на основі графа причинно-наслідкових зв'язків [2, 10].

Так, наприклад, при зниженні температури газів на вході з теплообмінник з 140 °С до 134 °С

та зниженні температури зворотної води з 60 °С до 56 °С, що обумовлено зменшенням частоти обертання двигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів з 1,8 кг/с до 1,68 кг/с [10], необхідно прийняти рішення на зміну кількості пластин теплообмінника з 36 на 44 щодо входження в допуск другого рівня функціонування для підтримки температури місцевої води, що подається на підігрів повітря (рис. 7).

Здобуття ж підсумкової інформації (3) при температурі газів на вході в теплообмінник – 120 °С, а температурі зворотної води – 55 °С свідчить про завершення процесу сушки деревини та надає можливість з використанням інформаційної оцінки (4) входження в допуск першого рівня функціонування другого контуру когенераційної системи щодо зміни кількості пластин теплообмінника з 52 до 36 для підтримки підігріву повітря щодо сушки завантаженої свіжої деревини (рис. 8).

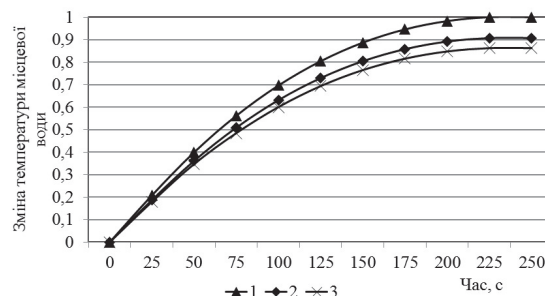


Рис. 7 – Контроль працездатності та підтвердження стану когенераційної системи при переході з першого рівня функціонування на другий рівень: 1 – допуск першого рівня функціонування; 2 – допуск другого рівня функціонування та ідентифікація нових умов функціонування щодо переходу з першого рівня функціонування на другий рівень; 3 – прийняття рішення щодо зміни кількості пластин з 36 на 44

На основі запропонованої архітектури когенераційної системи (рис. 1) та розроблених структурних схем (рис. 2, 4–6), що апробовані для підтримки функціонування другого контуру когенераційної системи для фіксованого інтервалу часу, розроблено інтегровану систему підтримки температури місцевої води при безперервному вимірюванні температури газів на вході в теплообмінник та температури зворотної води (рис. 9). Оцінка зміни температури місцевої води дозволяє приймати рішення на зміну поверхні теплообміну теплообмінника впродовж терміну сушки деревини та підтримувати відвантаження висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу.

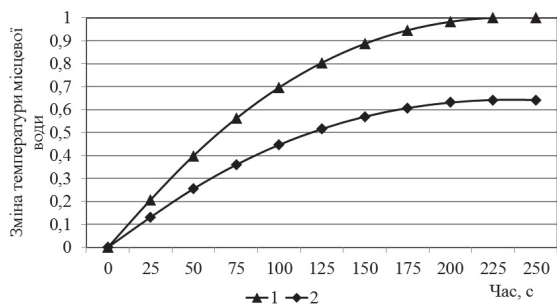


Рис. 8 – Контроль працездатності та підтвердження стану когенераційної системи щодо зміни режимних умов функціонування: 1 – допуск першого рівня функціонування та підтримка завантаження свіжої сировини; 2 – підтримка відвантаження висушеної деревини

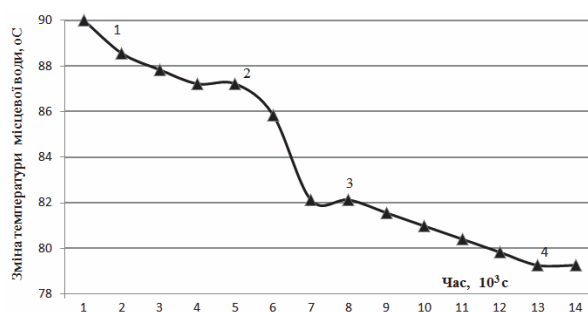


Рис. 9 – Інтегрована система підтримки температури місцевої води: 1 – завантаження свіжої деревини; 2, 3 – підтримка сушки деревини щодо переходу з першого рівня функціонування на другий та з другого рівня функціонування на третій, відповідно; 4 – відвантаження висушеної деревини

Так, наприклад, рівень підтримки зміни температури місцевої води 1 (рис. 9) забезпечує підігрів 1,8 кг/с повітря в термін часу від завантаження свіжої деревини до підігріву повітря до 82 °C [10]. Прийняття рішення на зменшення частоти обертання двигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів з 1,8 кг/с до 1,68 кг/с [10] відповідає зниженню температури газів на вході з теплообмінник другого контуру когенераційної системи з 140 °C до 134 °C та зниженню температури зворотної води з 60 °C до 56 °C. В цей термін часу прийнято рішення на зміну кількості пластин теплообмінника з 36 на 44 щодо входження в допуск рівня функціонування 2 (рис. 9) когенераційної системи для підтримки температури місцевої води, що подається на підігрів повітря. При подальшому зменшенню частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора впродовж терміну сушки деревини та відповідному прийняттю рішень на зміну витрати повітря на підігрів [10] здобута інтегрована система зміни температури місцевої води (рис. 9) дозволяє на основі прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника виконувати зміну рівня функціонування 2 на рівень функціонування 3. В термін

часу 13200 с при температурі повітря, що подається на підігрів, на рівні 74 °C [10] прийняття рішення на відвантаження висушеної деревини відповідає зміні температури газів на вході в теплообмінник другого контуру когенераційної системи – 120 °C та температурі зворотної води – 55 °C, що підтримує завершення процесу сушки деревини з використанням рівня функціонування 4 (рис. 9) та надає можливість входження в допуск рівня функціонування 1 щодо зміни кількості пластин теплообмінника з 52 до 36 для підтримки підігріву повітря щодо сушки завантаженої свіжої деревини (рис. 9).

Обговорення результатів

В результаті проведених досліджень на основі запропонованої архітектури когенераційної системи виконано комплексне математичне моделювання динаміки теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води при вимірюванні температури газів та температури зворотної води на вході в теплообмінник. Визначено граничну зміну температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування когенераційної системи. Розроблено системи контролю працездатності когенераційної системи щодо підтримки зміни температури місцевої води для фіксованого інтервалу часу. Розроблено інтегровану систему підтримки температури місцевої води при вимірюванні температури газів на вході в теплообмінник та температури зворотної води щодо зміни кількості пластин теплообмінника впродовж сушки деревини при встановленому терміні відвантаження висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу. Забезпечено підтримку співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти, що при безперервному функціонуванні когенераційної системи, надає можливість додаткового вироблення енергії. Представлені дослідження, що є продовженням роботи в напрямку узгодження виробництва та споживання біопалива [2, 10], можуть бути апробовані для когенераційних систем різної потужності.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

1) Виробництво пелетного палива у складі когенераційної системи потребує підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти при використанні зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів, для сушки деревини.

2) Запропоновано архітектуру когенераційної системи, що має у своєму складі основу – динамічну підсистему, яка включає когенераційну

установку, теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води, сушильну установку, теплообмінник підігріву повітря, повітряний вентилятор та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою.

3) Виконано комплексне математичне моделювання динаміки теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води при вимірюванні температури газів та температури зворотної води на вході в теплообмінник. Визначено граничну зміну температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування на основі розробленої структурної схеми.

4) Виконано контроль працездатності та підтвердження нових умов функціонування когенераційної системи на основі здобуття функціональної оцінки зміни температури місцевої води в умовах зміни витрати повітря на підігрів для сушки деревини.

5) Розроблено структурну схему та виконано підтримку температури місцевої води на рівні прийняття рішень. Особливістю цієї схеми є порівняння температури газів на вході в теплообмінник, що вимірюється, з еталонним значенням та визначення підсумкової інформації щодо прийняття рішень.

6) Розроблено інтегровану систему підтримки температури місцевої води при вимірюванні температури газів на вході в теплообмінник та температури зворотної води щодо зміни калкості пластин теплообмінника та забезпечення підтримки відвантаження висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу.

7) Підтримка співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти надає можливість наприклад, в умовах функціонування когенераційної системи номінальною потужністю 115 кВт при виробництві 5,8 тис. т пелет з деревини в рік знизити собівартість виробництва енергії в межах 20–30 %.

Список літератури

- 1 Гелету́ха, Г. Г. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 2 / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Железная, П. П. Кучерук, Е. Н. Олейник, А. В. Трибой // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т. 37, № 3. – С. 65–73. – ISSN 0204-3602.
- 2 Чайковська, Є. Є. Розробка енергозберігаючої технології підтримки функціонування біодизельної установки у складі когенераційної системи / Є. Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 1/8(79). – С. 4–11. – ISSN 1729-3774. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59479.
- 3 Трошин, А. Г. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы / А. Г. Трошин, В. Ф. Моисеев, И. А. Тельнов, С. И. Завинский // Восточно-Европейский журнал

- передовых технологий. – 2010. – № 8/45(3). – С. 36–40. – ISSN 1729-3774.
- 4 Bhattarai, Sujala. Simulation Study for Pneumatic Conveying Drying of Sawdust for Pellet Production / Sujala Bhattarai, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae Hyun Kim, Liang Yu // Drying Technology. – 2014. – Vol. 32. – p. 1142–1156. – ISSN 0737-3937. – doi: 10.1080/07373937.2014.884575.
- 5 Laurila, Jussi. Compression drying of energy wood / Jussi Laurila, Havimo Mikko, Lauhanen Risto // Fuel Processing Technology. – 2014. – Vol. 124. – p. 286–289. – ISSN 0378-3820. – doi: 10.1016/j.fuproc.2014.03.016.
- 6 Yuping, Liu. Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system / Liu Yuping, Aziz Muhammad, Kansha Yasuki, Bhattacharya Sankar, Tsutsumi Atsushi // Fuel Processing Technology. – 2014. – Vol. 117. – p. 66–74. – ISSN 0378-3820. – doi: 1016/j.fuproc.2013.02.007.
- 7 Wang, Hai-cao. Study of Immune PID Controller for Wood Drying System / Hai-cao Wang, He-ming Jia // 2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies. – 2013. – p. 827–831. – ISBN 1-4673-5603-9. – doi: 10.1109/csnt.2013.176.
- 8 Zhongfu, Tian. Research on control system of wood drying based on BP Neural Network / Tian Zhongfu, Li Yuehua // Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer(MEC). – 2013. – p. 36–38. – ISBN 4-4799-2564-3. – doi: 10.1109/mec.2013.6885046.
- 9 Perre, Perre. Drying of Wood: Principles and Practices / Patrick Perre, Roger Keeey // Handbook of Industrial Drying. – 2014. – p. 797–846. – ISSN 978-1-4665-9665-8. – doi: 10.1201/b17208-44.
- 10 Чайковська, Є. Є. Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system / Є. Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 3, № 8(81). – С. 42–46. – ISSN 1729-3774. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540.

Bibliography (transliterated)

- 1 Heletuha, H. H., Gelieznaia, T. A., Kuchtruk, P. P., Olienic, E. N. and Triboi, A. B. (2015), "Bioenergetika v Ukraine : sovremennoe sostojnie i perspective razvitija. Chast' 2 [Bioenergy in Ukraine: Current State and Prospects for Development. Part 2]", *Promyshlennaja teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, No. 3(37), pp. 65–73, ISSN 0204-3602.
- 2 Chaikovskaya, E. E. (2016), "Rozrobka energozberigajuchoi tehnologii pidtrimki bidizelnoi ustanovki u skladi kogeneracijnoi sistemy [The development of energy-saving technology support operation of biodiesel plant of the composition of cogeneration system]", *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovih tehnologij [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]*, No. 1/8(79), pp. 4–11, ISSN 1729-3774, doi: 10.15587/1729-4061.2016.59479.
- 3 Trohin, A. H., Moiseiev, V. F., Telnov, I. A. and Zavinski, S. I. (2010), "Razvije processov i oborudovaniy dlja proizvodstva toplivnih briketov iz biomassey [Development of processes and equipment for the production of fuel pellets from biomass]", *Vostochno-*

- Evropejskij zhurnal peredovich tehnologij [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]*, No. 8/45(3), pp. 36–40, ISSN 1729-3774.
- 4 **Bhattarai Sujala, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae Hyun Kim, Liang Yu** (2014), "Simulation Study for Pneumatic Conveying Drying of Sawdust for Pellet Production", *Drying Technology*, No. 32, pp. 1142–1156, ISSN 0737-3937, doi: 10.1080/07373937.2014.88457.
 - 5 **Jussi Laurila, Havimo Mikko, Lauhanen Risto** (2014), "Compression drying of energy wood", *Fuel Processing Technology*, No. 124, pp. 286–289, ISSN 0378-3820, doi: 10.1016/j.fuproc.2014.03.016.
 - 6 **Liu Yuping, Aziz Muhammad, Kansha Yasuki, Bhat-tacharya Sankar, Tsutsumi Atsushi** (2014), "Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system", *Fuel Processing Technology*, No. 117, pp. 66–74, ISSN 0378-3820, doi: 10.1016/j.fuproc.2013.02.007.
 - 7 **Hai-tao Wang, Heming Jia** (2013), "Study of Immune PID Controller for Wood Drying System", *2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, pp. 827–831, ISBN 1-4673-5603-9. – doi: 10.1109/csnt.2013.176.
 - 8 **Zhongfu, Tian, Li Yuehua** (2013), "Research on control system of wood drying based on BP Neural Network" *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*, pp. 36–38, ISBN 4-4799-2564-3, doi: 10.1109/mec.2013.6885046.
 - 9 **Patrick Perre, Roger Keeey** (2014) "Drying of Wood: Principles and Practices", *Handbook of Industrial Drying*, pp. 797–846, ISSN 978-1-4665-9665-8, doi: 10.1201/b17208-44.
 - 10 **Chaikovskaya, E. E.** (2016), "Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No 3/8(81), pp. 42–46, ISSN 1729-3774, doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540.

Відомості про автора (About author)

Чайковська Євгенія Євстафіївна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики; м. Одеса, Україна; e-mail: eechaikovskaya@gmail.com, ORCID 0000-0002-5663-2707.

Chaikovskaya Eugene – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Odessa National Polytechnic University, Associate Professor, Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa, Ukraine.

Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Чайковська, Є. Є. Контроль працездатності когенераційної системи на пелетному паливі / **Є. Є. Чайковська** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 11(1233). – С. 87–94. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.14.

Please cite this article as:

Chaikovskaya, E. (2017), "Control Working Ability of the Cogeneration System on Pellet Fuel", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 11(1233), pp. 87–94, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.14.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чайковская, Е. Е. Контроль работоспособности когенерационной системы на пеллетном топливе / **Е. Е. Чайковская** // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – № 11(1233). – С. 87–94. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.14.

АННОТАЦИЯ Предложена интегрированная система поддержания температуры местной воды при измерении температуры газов и температуры обратной воды на входе в теплообменник второго контура когенерационной системы. Принятие решений на изменение количества пластин теплообменника позволяет поддерживать соотношение производства электрической энергии и теплоты при использовании изменения частоты вращения электродвигателя воздушного вентилятора для изменения расхода воздуха, подающегося на подогрев для сушки древесины. Такой подход позволяет, например, в условиях функционирования когенерационной системы мощностью 115 кВт снизить себестоимость выработанной энергии до 20–30 %.

Ключевые слова: когенерационная установка, пеллетное топливо, контроль работоспособности, принятие решений.

Надійшла (received) 10.02.2017