

*В роботі запропонована технологія функціонування біодизельної установки, яка дозволяє підтримувати підігрів масла в теплообміннику, що входить до її складу, при вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника. Використання інтегрованої системи оцінки зміни температури масла, здобутої на основі математичного та логічного моделювання у складі когенераційної системи, надає можливість приймати рішення на зміну кількості пластин теплообмінника для забезпечення постійного виходу біодизелю та своєчасну зміну підігрітого та свіжого масла*

*Ключові слова: технологія, біодизельна установка, температура масла, математичне та логічне моделювання, когенераційна система*

*В работе предложена технология функционирования биодизельной установки, которая позволяет поддерживать подогрев масла в теплообменнике, который входит в ее состав, при измерении температуры биодизеля на выходе из теплообменника. Использование интегрированной системы оценки изменения температуры масла, полученной на основе математического и логического моделирования в составе когенерационной системы, дает возможность принимать решения на изменение количества пластин теплообменника для обеспечения постоянного выхода биодизеля и своевременную смену подогретого и свежего масла*

*Ключевые слова: технология, биодизельная установка, температура масла, математическое и логическое моделирование, когенерационная система*

УДК 621.31

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59479

# РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ У СКЛАДІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Є. Є. Чайковська

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент  
Кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики  
Одеський національний політехнічний університет  
пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044  
E-mail: eechaikovskaya@gmail.com

## 1. Вступ

Реалізація енергії за “зеленим тарифом” є достатньо стимулюючим фактором для розвитку сучасних когенераційних технологій щодо використання біопалива як відновлюваного джерела енергії [1, 2]. Біодизель – метиловий ефір, який отримують в результаті процесу етерифікації з будь-якого підігрітого рослинного масла чи тваринних жирів. З цією ціллю до семи масових одиниць сировини з використанням каталізатора додають одну масову одиницю метанолу. Здобутий побічний продукт – гліцерин зазвичай має застосування для виробництва технічних миючих засобів. При виробництві біодизелю використовують не завжди достовірний вимір температури масла, що у зв'язку із значною тепловою акумулюючою ємністю масла вносить істотну невірогідність у підтримку процесу етерифікації. Регулюючим впливом в існуючих технологіях є зміна витрати масла, що може порушити необхідний баланс складових процесу для забезпечення постійного виходу біодизелю. Більш того, на підтримку процесу етерифікації, в тому числі на підігрів масла з використанням електричної енергії, витрача-

ють до 20 % запланованої потужності виробництва біодизелю. Цілодобове ж функціонування біодизельних установок дозволяє розширити термін функціонування когенераційних систем щодо додаткового вироблення енергії при гарантованому забезпеченні біодизелем. Цим обґрунтовується актуальність даної роботи.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

При виробництві біодизелю застосовують як традиційні, так і новітні технології. Так, наприклад, в ультразвукових реакторах інтенсифікація теплообміну процесу етерифікації дозволяє зменшити кількісний склад допоміжних речовин та скоротити термін виходу біодизелю, але значно здорожує виробництво [3]. Роторно-пульсаційні апарати дозволяють локально вводити енергію та дискретно її розподіляти щодо імпульсного впливу на перемішування складових хімічної реакції. Такий метод знижує енерговитрати на виробництво біодизелю та скорочує тривалість процесу, але може викликати пульсацію потоків робочих тіл, що ускладнює процес етерифікації та працез-

датність обладнання [4]. Підвищенню ефективності виробництва біодизелю, наприклад, присвячена робота [5], в якій представлено обґрунтування переробки побічного продукту – гліцерину в метанол без передбачуваного зневоднення з використанням спеціального катализатора. В роботах [6, 7] досліджено вплив якості сировини як первинного продукту на склад продуктів згоряння біодизелю, а в роботах [8, 9] на основі експериментальних досліджень встановлено вплив оптимізації процесу спалювання біодизелю як кінцевого продукту на зміну шкідливих викидів. Для підтримки функціонування біодизельних установок розроблена, наприклад, архітектура відбору проб біодизелю щодо оцінки зміни його параметрів [10], а в роботі [11] представлено алгоритм аналітичної обробки інформації на основі моніторингу параметрів біодизелю щодо визначення його якості. Запропоновані системи підтримки функціонування біодизельних установок, в тому числі й інформаційні, не враховують значну теплову акумулюючу ємність масла та базуються на вимірюванні температури масла щодо зміни витрати масла для підтримки процесу етерифікації, що може порушити необхідний баланс потоків щодо постійного виходу біодизелю.

Для своєчасного прийняття рішень необхідно, включивши до складу біодизельної установки теплообмінник для підігріву масла, прогнозувати зміну температури масла, вимірюючи температуру біодизелю на виході з теплообмінника, зміна якої відбувається раніше, ніж зміна температури масла, та підтримувати температуру біодизелю на вході в теплообмінник на основі зміни поверхні теплообміну теплообмінника.

### 3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи – розробити енергозберігаючу технологію функціонування біодизельної установки у складі когенераційної системи.

Поставлена мета може бути досягнена при виконанні таких задач:

- обґрунтувати необхідність прогнозування зміни температури масла, вимірюючи температуру біодизелю на виході з теплообмінника для підігріву масла, для прийняття рішень на зміну поверхні теплообміну теплообмінника;
- розробити структурну схему комплексного математичного моделювання динаміки біодизельної установки для здобуття еталонної оцінки зміни температури масла;
- розробити структурну схему логічного моделювання щодо контролю працездатності біодизельної установки для здобуття підсумкової функціональної оцінки зміни температури масла;
- розробити структурну схему логічного моделювання щодо прийняття рішень на підтримку функціонування біодизельної установки у складі когенераційної системи;
- розробити структурну схему логічного моделювання щодо ідентифікації стану біодизельної установки для підтвердження прийняття рішень;
- запропонувати інтегровану систему оцінки зміни температури масла щодо енергозберігаючої технології функціонування біодизельної установки;

– оцінити практичну значущість здобутих результатів.

### 4. Енергозберігаюча технологія функціонування біодизельної установки у складі когенераційної системи

З використанням методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем [12] запропонована архітектура когенераційної системи, що має у своєму складі основу – інтегровану динамічну підсистему, що включає когенераційну установку, біодизельну установку та теплообмінник для підігріву масла біодизелем. Іншими блоками є блоки розряду, заряду та оцінки функціональної ефективності (рис. 1).

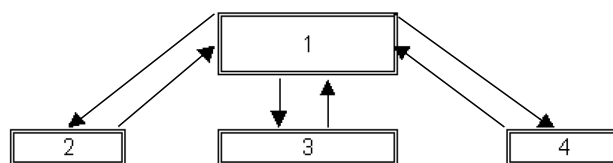


Рис. 1. Архітектура когенераційної системи: 1 – динамічна підсистема (когенераційна установка, біодизельна установка та теплообмінник підігріву масла біодизелем); 2 – блок заряду; 3 – блок розряду; 4 – блок оцінки функціональної ефективності

З використанням формули (1) описано математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи [12]:

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

де CS – когенераційна система; D – динамічна підсистема (біодизельна установка з теплообмінником підігріву масла); P – властивості елементів когенераційної системи;  $\tau$  – час, с; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; K – коефіцієнти математичного опису; y – вихідні параметри; d – динамічні параметри; R, Z – логічні відносини в D, CS, відповідно. Індеси: i – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

У зв'язку зі зміною якості масла, що подають до біодизельної установки, та неможливістю зміни витрати масла для підтримки процесу етерифікації щоб не порушити баланс потоків масла та готового біодизелю, необхідно встановити рівні функціонування біодизельної установки на основі зміни температури біодизелю на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, які надають можливість змінювати поверхню теплообміну теплообмінника для збереження балансу потоків теплоносіїв щодо постійного виходу біодизелю.

З цією ціллю для оцінки зміни температури масла як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника, що співпадає з напрямком потоку руху середовища отримана передатна функція за каналом: “температура масла – температура біодизелю”:

$$W_{\tau-\theta_1} = \frac{K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{L_b \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma \xi}),$$

де

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

$$L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}}; L_b = \frac{G_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}};$$

$$\beta = T_M S + \varepsilon^* + 1; T_M = \frac{g_m C_m}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \varepsilon^* = \varepsilon(1 - L_3^*);$$

$$\gamma = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{L_b \beta}; T_b = \frac{g_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}};$$

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

де  $t, \sigma, \theta$  – температура масла, біодизелю, стінки теплообмінника, К, відповідно;  $G$  – витрата речовини, кг/с;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м<sup>2</sup>·К);  $h$  – питома поверхня, м<sup>2</sup>/м;  $C$  – питома теплоємність, кДж/(кг·К);  $T_b, T_m$  – постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність масла, метала, с, відповідно;  $S$  – параметр перетворення Лапласа;  $S = \omega j$ ;  $\omega$  – частота, 1/с;  $g$  – питома маса речовини, кг/м;  $m$  – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати;  $z$  – координата довжини теплообмінника, м. Індекси:  $z$  – зовнішній потік – біодизель;  $b$  – внутрішній потік – масло;  $m$  – металева стінка;  $0, 1$  – початкові умови, вхід в теплообмінник, відповідно.

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

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

До складу коефіцієнта  $K_3$  входить температура поділяючої стінки  $\theta$ :

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

де  $\sigma_1, \sigma_2$  – температура біодизелю на вході, та на виході з теплообмінника, К, відповідно;

$$A = 1 / (\delta_m / \lambda_m + 1 / \alpha_b),$$

де  $\delta$  – товщина стінки теплообмінника, м;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м<sup>2</sup>·К);  $\lambda$  – теплопровідність метала стінки теплообмінника, кВт/(м·К);  $t_1, t_2$  – температура масла на вході та на виході з теплообмінника, К, відповідно. Індекси:  $z$  – зовнішній потік – біодизель;  $b$  – внутрішній потік – масло.

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

$$A_1 = \varepsilon^* - T_b T_m \omega^2; A_2 = \varepsilon^* + 1; B_1 = T_b \varepsilon \omega + T_b \omega + T_m \omega;$$

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

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

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

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

Для комплексного математичного моделювання динаміки біодизельної установки та теплообмінника для підігріву масла, що входить до її складу, розроблено структурну схему, що представлена, наприклад, для вихідних даних біодизельної установки продуктивністю 12000 л/добу біодизелю (рис. 2).

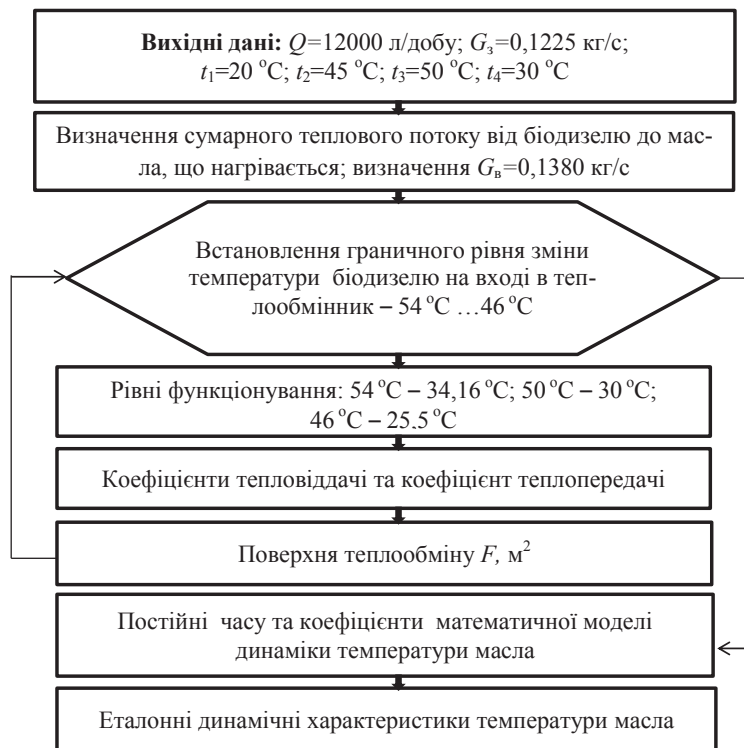


Рис. 2. Структурна схема комплексного математичного моделювання динаміки біодизельної установки та теплообмінника підігріву масла:  $Q$  – продуктивність біодизельної установки, л/добу;  $G_3, G_b$  – витрата біодизелю, масла, кг/с, відповідно;  $t_1, t_2$  – температура масла на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, К, відповідно;  $t_3, t_4$  – температура біодизелю на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, К, відповідно

В межах запропонованої циклічної структури при зберіганні постійними витрат масла та біодизелю для підігріву масла з 20 °C до 45 °C встановлено наступні рівні функціонування біодизельної установки щодо

зміни температури біодизелю на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника: верхній рівень: 54–34,16 °С; середній рівень: 50–30 °С; низький рівень: 46–25,5 °С, які відповідають зміні поверхні теплообміну щодо зміни кількості пластин теплообмінника: 22, 18, 14. Представлена структурна схема дозволяє, здобувши постійні часу та коефіцієнти математичної моделі динаміки температури масла, визначити гранично припустиму зміну температури масла для встановлених рівнів функціонування (рис. 2). В табл. 1, 2 представлени результати комплексного математичного моделювання динаміки біодизельної установки та теплообмінника підігріву масла в її складі щодо підтримки зміни температури масла.

Для отримання підсумкової інформації (1–4) (рис. 3) щодо прийняття рішень на підтримку функціонування біодизельної установки розроблено логічну модель контролю працездатності біодизельної установки на основі метода графа причинно-наслідкових зв'язків [12].

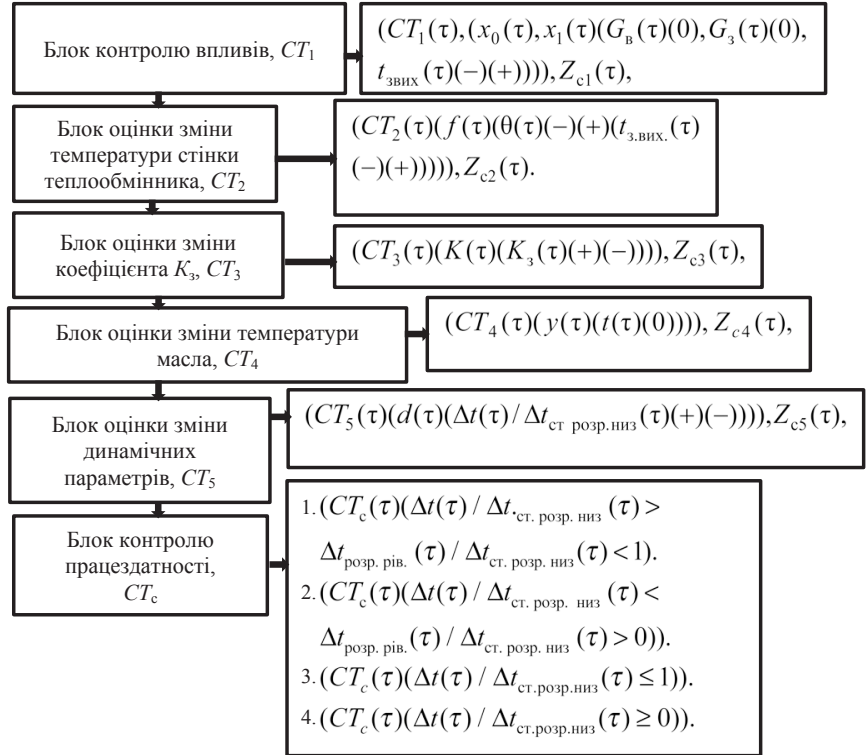


Рис. 3. Структурна схема логічного моделювання щодо контролю працездатності біодизельної установки

Таблиця 1

Параметри теплообміну в теплообміннику підігріву масла

Рівні функціонування	Параметр		
	$\alpha_3$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\alpha_6$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	k, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Верхній рівень	363,86	188,01	123,48
Середній рівень	414,86	215,04	141,00
Низький рівень	485,25	254,43	166,00

Примітка:  $\alpha_3$  – коефіцієнт тепловіддачі від біодизелю до стінки теплообмінника, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\alpha_6$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки теплообмінника до масла, Вт/(м<sup>2</sup>·К); k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

Таблиця 2

Значення постійних часу та коефіцієнтів математичної моделі динаміки температури масла

Рівні функціонування	$T_b$ , с	$T_m$ , с	$\epsilon$	$\epsilon^*$	$L_3$ , м	$L_b$ , м	$L_3^*$	$\zeta$
Верхній рівень	14,96	10,8	2,35	2,11	69,21	129,82	0,94	1,73
Середній рівень	13,11	9,44	2,33	1,98	60,21	113,50	0,94	1,97
Низький рівень	11,09	7,98	2,31	1,85	50,21	95,93	0,95	2,31

На рис. 3 СТ – контроль події; Z – логічні відносини; d – динамічні параметри; t – температура масла, K;  $t_3$  – температура біодизелю, K; x – впливи; f – параметри, що діагностуються; y – вихідні параметри; K – коефіцієнти математичного опису;

$$K_3 = \frac{m(\theta_0 - t_{з.вих0})}{G_{30}} - \text{коефіцієнт математичної моделі}$$

динаміки біодизельної установки, де  $\theta$  – температура стінки теплообмінника, K, відповідно; G – витрата теплоносіїв, кг/с. Індекси: с – контроль працездатності; вх., вих. – вхід і вихід біодизелю; низ. – низький рівень функціонування; з – біодизель; в – масло; розр., ст. – розрахункове, стає значення параметра; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішні, внутрішні параметри; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – суттєві параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри.

При безперервному вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника, що порівнюються з еталонним значенням рівня функціонування, з використанням логічної структури в межах циклу запропоновано виконувати відключення чи включення пластин теплообмінника щодо підігріву масла на основі здобутої інформаційної оцінки (1), (2), відповідно. Здобуття ж підсумкової інформації (3) при досягненні температури біодизелю на виході з теплообмінника гранично низького рівня – 25 °С, потребує прийняття рішення на відвантаження підігрітого масла та включення 22 пластин теплообмінника щодо подачі свіжого масла для входження в допуск верхнього рівня функціонування біодизельної установки щодо встановлення температури біодизелю на вході в теплообмінник – 54 °С (рис. 4).

Підтвердження правильності прийнятих рішень виконано на основі запропонованої структурної схеми ідентифікації стану біодизельної установки у складі когенераційної системи (рис. 5), що розроблена на основі графа причинно-наслідкових зв'язків [12].

динаміки біодизельної установки, де  $\theta$  – температура стінки теплообмінника, К, відповідно;  $G$  – витрата теплоносія, що гріє, кг/с; Індокси:  $s$  – стан; низ. – низький рівень функціонування; розр., ст. – розрахункове, стає значення параметра; 0, 2 – початковий стаціонарний режим, внутрішні параметри; 3 – коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – суттєві параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри.

На основі запропонованої архітектури когенераційної системи (рис. 1) та розроблених структурних схем (рис. 2–5), що апробовані для підтримки функціонування біодизельної установки для фіксованого інтервалу часу [12], розроблено інтегровану систему підтримки функціонування біодизельної установки (табл. 3), що надає можливість на основі аналітичної оцінки зміни температури масла приймати рішення на зміну поверхні теплообміну теплообмінника для підігріву масла при безперервному вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника. Запропонована система дозволяє підтримувати заряд – розряд біодизельної установки щодо підігріву масла та виходу біодизелю та встановлювати точний термін подачі підігрітого масла до біодизельного реактора та завантаження свіжого масла.

Температуру масла у визначений термін часу визначено так:

$$t_{bi}(\tau) = ((\Delta t_{bi}(\tau) / \Delta t_{в ст. розр. низ}(\tau) - \Delta t_{bi-1}(\tau) / \Delta t_{в ст. розр. низ}(\tau)) (t_{b2} - t_{b1})) + t_{bi-1}(\tau), \quad (6)$$

де  $t_b$  – температура масла, °С;  $t_{b1}, t_{b2}$  – температура масла на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, °С, відповідно;  $i$  – число рівнів підігріву;  $\tau$  – час, с. Індекс: ст. розр. низ. – стає, розрахункове значення параметра низького рівня функціонування.

Так, наприклад, через 4400 с після подачі свіжого масла при включенні 22 пластин теплообмінника відносна зміна температури масла при вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника складає 0,6099, що відповідає температурі підігріву масла до 35,24 °С, яка розрахована наступним чином:

$$35,24 \text{ °C} = ((0,6099 - 0,4700) \times (45 \text{ °C} - 20 \text{ °C})) + 31,75 \text{ °C}.$$

Для подальшого підігріву масла необхідно відключити 4 пластини теплообмінника, контролюючи температуру біодизелю на виході з теплообмінника, що в термін часу 7700 с становить 30 °С, та виконувати подальший підігрів масла до температури 40,68 °С, що розрахована так:

$$40,68 \text{ °C} = ((0,8275 - 0,6759) (45 \text{ °C} - 20 \text{ °C})) + 36,89 \text{ °C}.$$

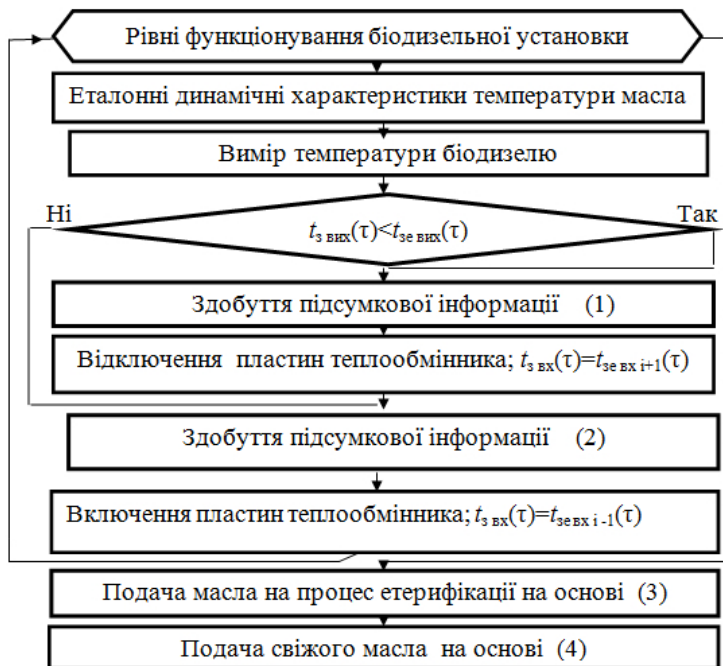


Рис. 4. Структурна схема підтримки процесу етерифікації на рівні прийняття рішень, де  $t_{3 \text{ вх}}, t_{3 \text{ е вх}}, t_{3 \text{ вих}}, t_{3 \text{ е вих}}$  – функціональна та еталонна температура біодизелю на вході в теплообмінник підігріву масла та на виході з теплообмінника, відповідно, К;  $i$  – число рівнів функціонування;  $\tau$  – час, с

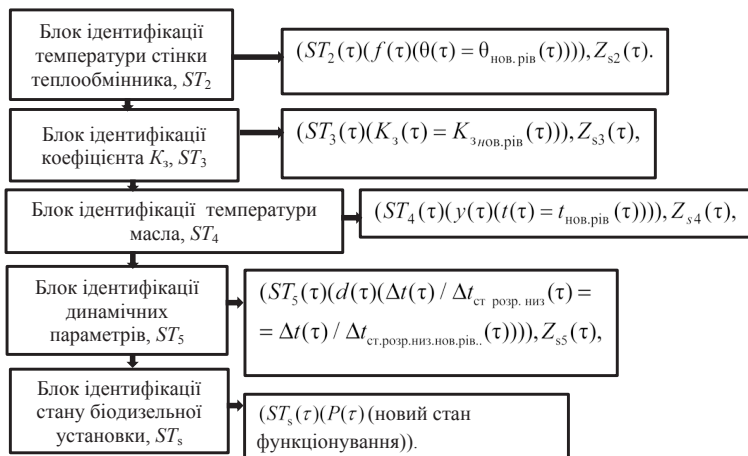


Рис. 5. Структурна схема логічного моделювання ідентифікації стану біодизельної установки

На рис. 5  $ST$  – ідентифікація стану;  $P$  – властивості біодизельної установки;  $Z$  – логічні відношення;  $d$  – динамічні параметри;  $t$  – температура масла, К;  $f$  – параметри, що діагностуються;  $y$  – вихідні параметри;  $K$  – коефіцієнти математичного опису;

$K_3 = \frac{m(\theta_0 - t_{3.вх0})}{G_{30}}$  – коефіцієнт математичної моделі

Таблиця 3

## Інтегрована система підтримки функціонування біодизельної установки

Час, t, 100 с	Підтримка підігріву масла	$\Delta t_v (\tau) / \Delta t_v \text{ ст. розр. низ} (\tau)$	$t_v (\tau), ^\circ\text{C}$
11	Подача свіжого масла. Прийняття рішення на включення 22 пластин теплообмінника: $t_{3, \text{вх}} = 54 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 42 ^\circ\text{C}$	0,0725	21, 81
22	Включено 22 пластини. Заряд – розряд: $t_{3, \text{вх}} = 54 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 37 ^\circ\text{C}$	0,4000	30,0
33	Включено 22 пластини. Заряд – розряд: $t_{3, \text{вх}} = 54 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 36 ^\circ\text{C}$	0,4700	31,75
44	Прийняття рішення на відключення 4 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 54 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 34 ^\circ\text{C}$	0,6099	35,24
55	Ідентифікація нових умов функціонування: включено 18 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 50 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 33 ^\circ\text{C}$	0,6099	35,24
66	Включено 18 пластин. Заряд – розряд: $t_{3, \text{вх}} = 50 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 32 ^\circ\text{C}$	0,6759	36,89
77	Включено 18 пластин. Заряд – розряд: $t_{3, \text{вх}} = 50 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 30 ^\circ\text{C}$	0,8275	40,68
88	Прийняття рішення на відключення 4 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 50 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 29 ^\circ\text{C}$	0,9011	42,52
99	Ідентифікація нових умов функціонування: включено 14 пластин: $t_{3, \text{вх}} = 46 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 27 ^\circ\text{C}$	0,9011	42,52
110	Подача підігрітого масла на етерифікацію: $t_{3, \text{вх}} = 46 ^\circ\text{C}$ ; $t_{3, \text{вих}} = 25,5 ^\circ\text{C}$	1	45,0

Примітка:  $t_{3, \text{вх}}$ ,  $t_{3, \text{вих}}$  – температура біодизелю на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, відповідно,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_a$  – температура масла,  $^\circ\text{C}$ . Індекс: ст. розр. низ. – стале, розрахункове значення параметра низького рівня функціонування

А якщо ж температура біодизелю на виході з теплообмінника зменшилась до  $25,5 ^\circ\text{C}$ , то у зв'язку із завершенням підігріву масла до температури  $45 ^\circ\text{C}$  необхідно подати підігріте масло до біодизельного реактора та завантажити свіже масло, включивши 22 пластини теплообмінника.

### 5. Обговорення результатів дослідження щодо енергозберігаючої технології підтримки функціонування біодизельної установки у складі когенераційної системи

В результаті проведених досліджень розроблена інтегрована система зміни температури масла, що дозволяє підтримувати підігрів масла на основі зміни поверхні теплообміну теплообмінника при вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника. Здобута аналітична оцінка зміни температури масла в зв'язку із недостатнім використанням виміру із-за значної теплової акумулюючої ємності масла. Запропоновано вимірювання температури бі-

одизелю на виході з теплообмінника, зміна якої відбувається раніше, ніж зміна температура масла. Це надає можливість приймати упереджені рішення на зміну поверхні теплообміну теплообмінника щодо підтримки підігріву масла до встановленої температури. Забезпечено постійний вихід біодизелю при визначенні точного терміну подачі підігрітого масла в біодизельний реактор та подачі свіжого масла на підігрів. Забезпечено безперервне функціонування когенераційної системи для можливості додаткового вироблення енергії. Розроблена технологія за рахунок енергозбереження надає можливість зменшити собівартість виробництва біодизелю та термін окупності біодизельної установки, здобути економію умовного палива та грошовий прибуток за рахунок додатково виробленої енергії. Представлені дослідження, що є продовженням роботи в напрямку узгодження виробництва та споживання біопалива [2], можуть бути використані для виробництва біодизелю в потоці. Запланована апробація здобутих результатів в умовах використання біодизельних установок різної потужності в складі когенераційних систем.

### 6. Висновки

1. Когенераційні технології з використанням біодизелю потребують інтегрованої системи оцінки зміни температури масла щодо підтримки головних складових процесу здобуття біодизелю: виходу біодизелю, відвантаження підігрітого масла та завантаження свіжого масла.

2. Запропоновано структурну схему комплексного математичного моделювання динаміки біодизельної установки та теплообмінника підігріву масла, що надає можливість визначати допуски на зміну температури масла для встановлених рівнів функціонування, що відповідають зміні температури біодизелю на вході та на виході з теплообмінника.

3. Запропоновано структурну схему логічного моделювання щодо контролю працездатності біодизельної установки для здобуття підсумкової функціональної оцінки зміни температури масла. Така схема, що функціонує за принципом причинно-наслідкових зв'язків, включає в себе наступні блоки: оцінки зміни температури біодизелю на виході з теплообмінника підігріву масла, що вимірюється, зміни температури стінки теплообмінника, коефіцієнта математичної моделі динаміки температури масла,  $K_z$ , температури масла, динамічних параметрів зміни температури масла, контролю працездатності.

4. Запропоновано структурну схему підтримки процесу етерифікації на рівні прийняття рішень. Особливістю цієї схеми є порівняння температури біодизелю на виході з теплообмінника підігріву масла, що вимірюється, з еталонним значенням та визначення підсумкової інформації щодо прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника чи зміну потоків підігрітого та свіжого масла.

5. Запропоновано структурну схему логічного моделювання щодо ідентифікації стану біодизельної установки для підтвердження прийнятих рішень. Вона включає в себе наступні блоки: зміни температури стінки теплообмінника, коефіцієнта математичної

моделі динаміки температури масла,  $K_3$ , температури масла, динамічних параметрів зміни температури масла, ідентифікації стану біодизельної установки та дозволяє встановити новий стан функціонування біодизельної установки.

6. Запропоновано інтегровану систему зміни температури масла, що дозволяє підтримувати підігрів масла на основі зміни поверхні теплообміну теплообмінника при вимірюванні температури біодизелю на виході з теплообмінника та виконувати своєчасну подачу підігрітого масла до біодизельного реактора та завантаження свіжого масла.

7. Розроблена технологія за рахунок підтримки функціонування біодизельної установки з використанням зміни поверхні теплообміну теплообмінника підігріву масла на основі теплоти біодизелю надає можливість, наприклад, при виробництві 12000 л/добу біодизелю зменшити собівартість виробництва біодизелю та термін окупності біодизельної установки до 30%. Здобуто економію умовного палива – 19,28 т у. п. на рік. Використання біодизельного палива у складі когенераційної системи дозволяє додатково виробити 66,5 МВт годин/рік енергії, що в грошовому еквіваленті складає близько 200 тис. грн.

### Література

1. Гелетуца, Г. Г. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 2 [Текст] / Г. Г. Гелетуца, Т. А. Железная, П. П. Кучерук, Е. Н. Олейник, А. В. Трибой // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т. 37, № 3. – С. 65–73.
2. Чайковська, Є. Є. Розробка енергозберігаючої технології функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи [Текст] / Є. Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 3, № 8 (75). – С. 47–53. doi: 10.15587/1729-4061.2015.44252
3. Maghami, M. Production of biodiesel from fishmeal plant waste oil using ultrasonic and conventional methods [Text] / M., Maghami., S. M. Sadrameli, B. Ghobadian // Applied Thermal Engineering. – 2015. – Vol. 75. – P. 575–579. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.062
4. Долинский, А. А. Инновационные тепломассобменные технологии производства биотоплива из растительного сырья [Текст] / А. А. Долинский, Л. Н. Грабов, В. И. Мерций, Т. Л. Грабова // Промышленная теплотехника. – 2006. – № 5. – С. 70–75.
5. Osman, S. More efficient production of plant biodiesel [Text] / S. Osman. – Nature Middle East, 2015. doi: 10.1038/nmiddleeast.2015.171
6. Patel, N. K. Biodiesel from Plant Oils [Text] / N. K. Patel, S. N. Shah // Food, Energy, and Water. – 2015. – P. 277–307. doi: 10.1016/b978-0-12-800211-7.00011-9
7. Kovacs, A. The effect of biodiesel by – products on germination and plant growth [Text] / A. Kovacs // Applied Ecology and Environmental Research. – 2015. – Vol. 13, Issue 4. – P. 1171–1181. doi: 10.15666/aer/1304\_11711181
8. Hawrot-Paw, M. Influence of diesel and biodiesel fuel-contaminated soil on microorganisms, growth and development of plants [Text] / M. Hawrot-Paw, A. Wijatkowski, M. Mikiciuk // Plant, Soil and Environment. – 2015. – Vol. 61, Issue 5. – P. 189–194. doi: 10.17221/974/2014-pse
9. Lambosi, L. Emission and Performance Characteristic of Biodiesel Burner System [Text] / L. Lambosi, A. Khalid, B. Manshoor // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 773-774. – P. 540–544. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.540
10. Yu, H. Optimal Experimental Design for an Enzymatic Biodiesel Production System [Text] / H. Yu, H. Yue, P. Halling // IFAC-PapersOnLine. – 2015. – Vol. 48, Issue 8. – P. 1258–1263. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.09.141
11. Xiong, H. Biodiesel Remote Monitoring System Design Based on IOT [Text] / H. Xiong, X. Guo, W. Xie // Lecture Notes in Computer Science. – 2015. – P. 750–756. doi: 10.1007/978-3-319-15554-8\_65
12. Чайковська, Є. Є. Підтримка функціонування біопаливних установок [Текст] / Є. Є. Чайковська, К. О. Кустов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 2, № 10 (56). – С. 41–44. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3891/3567>