

ПОЛІМЕТРИЧНА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ПІРОЛІЗНОГО РЕАКТОРА КОМПЛЕКСУ ЕКОПІРОГЕНЕЗІСУ

У статті наведено розробку поліметричної комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу екопірогенезісу на основі непрямого методу вимірювання рівня. У складі даної системи розроблена підсистема обчислення рівня на базі нечіткої логіки. Результати моделювання підтверджують високу ефективність розробленої поліметричної комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування.

Ключові слова: екопірогенезіс, піролізний реактор, поліметрична комп'ютеризована система, моніторинг, автоматичне керування, нечітка логіка.

В статье приведена разработка полиметрической компьютеризированной системы мониторинга и автоматического управления уровнем загрузки пиролизного реактора комплекса экопирогенезиса на основе косвенного метода измерения уровня. В составе данной системы разработана подсистема вычисления уровня на базе нечеткой логики. Результаты моделирования подтверждают высокую эффективность разработанной полиметрической компьютеризированной системы мониторинга и автоматического управления.

Ключевые слова: экопирогенезис, пиролизный реактор, полиметрическая компьютеризированная система, мониторинг, автоматическое управление, нечеткая логика.

The development of the polymetric computerized monitoring and automatic control system for the pyrolysis reactor load level of the ecopyrogenesis technological complex on the basis of the indirect level measuring method is presented in the paper. The level calculating subsystem, based on the fuzzy logic is developed within the given system. Modeling results confirm the efficiency of the developed polymetric computerized monitoring and automatic control system.

Key words: ecopyrogenesis, pyrolysis reactor, polymetric computerized system, monitoring, automatic control, fuzzy logic.

Постановка проблеми. Перспективним методом розв'язання проблеми накопичення промислових та побутових відходів є їх переробка з отриманням альтернативного палива згідно з технологією екопірогенезісу (ЕПГ) [1]. Ця технологія об'єднує процеси багатоконтурного циркуляційного піролізу (БЦП) [2] та термостабільної двозонної газифікації (ТДГ) [3] в одну технологічну лінію, що дозволяє повністю утилізувати весь об'єм органічної частини твердих відходів та низькосортного вугілля в екологічно безпечних й енергозберігаючих режимах. Також застосування даної технології дозволяє отримувати на виході рідкі та газоподібні фракції альтернативного палива, придатні для використання у двигунах внутрішнього згорання без додаткової відчистки [4].

Для реалізації технології ЕПГ використовуються спеціалізовані технологічні комплекси, які, у свою чергу, є складними багатокомпонентними технічними об'єктами [5]. Комплексна автоматизація технологічних комплексів цього типу дозволяє значно підвищити їх ефективність роботи та економічні показники.

Стабілізація та моніторинг рівня завантаженості піролізного реактора є одними з найбільш важливих задач автоматичного керування технологічним процесом ЕПГ [5]. Можливість довантаження твердих побутових відходів та підтримання постійного значення їх кількості в реакторі дозволяє забезпечити роботу комплексу ЕПГ у безперервному режимі. Це дає змогу значно підвищити ефективність роботи та економічні показники комплексу, а також потребує наявності спеціальної комп'ютеризованої системи, що

забезпечуватиме моніторинг та автоматичне регулювання рівня завантаженості реактора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науково-технічній літературі є певна кількість публікацій стосовно автоматизації технологічних комплексів ЕПГ та їх основних компонентів [2; 3; 5; 6]. Так, в роботах [7; 8] та [9] наведені розробки систем автоматичного керування (САК) температурою нагріву та рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ, відповідно. При застосуванні САК рівнем, наведеної в [9] постає задача вимірювання рівня завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ, яка викликає ряд труднощів. Це зумовлено особливостями технологічного процесу піролізу і умовами роботи датчика рівня в піролізному реакторі, робоче середовище якого має такі властивості: температура не менше 600°C , висока в'язкість, зміна агрегатного стану та щільності сировини в процесі роботи, можливість затвердіння сировини та її налипання на чутливий елемент датчика, кипіння сировини. Проаналізувавши ці фактори та технічні характеристики існуючих датчиків рівня (поплавковий, магнітострикційний, емкисний, ультразвуковий, ротаційного типу, радарний), можна зробити висновок, що для роботи в таких умовах призначені тільки безконтактні датчики радарного типу.

Основними недоліками застосування радарного датчику рівня є його висока ціна та складність налагодження. Більш доцільним варіантом розв'язання вищевказаної задачі є застосування поліметричної системи, яка застосовує непрямий метод вимірювання рівня.

Метою статті є розробка поліметричної комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ на основі непрямого методу вимірювання рівня.

Структура комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування (КСМАК) рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ

Для завантаження відходів до піролізного реактора комплекс ЕПГ обладнаний гідроприводом подачі, робочим органом якого є поршень П. Зворотно-поступальний рух поршня П забезпечується за допомогою керуючого пристрою КП, електрокерованого золотника ЕКЗ, зворотного зв'язку за положенням та регулятора положення РП. Промисловий комп'ютер ПК, програмований логічний контролер ПЛК і модулі збору даних та аналогового виводу МЗД та МАВ призначенні для реалізації керування гідроприводом подачі та забезпечення автоматичного регулювання рівня завантаженості реактора [9].

Функціональна схема КСМАК рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ наведена на рис. 1 [9]. Задане значення рівня завантаженості реактора $L_{ЗР}$ встановлюється на промислому комп'ютері ПК. Відповідний сигнал із ПК $u_{ПК}$ подається на ПЛК. ПЛК містить у собі: перший суматор для порівняння сигналів ПК $u_{ПК}$ та датчика рівня ДР $u_{ДР}$, на виході якого формується помилка регулювання рівня $\varepsilon_{Р}$; регулятор рівня РР, який формує сигнал керування $u_{РР}$ відповідно до значення помилки $\varepsilon_{Р}$; керуючий пристрій КП, що виробляє сигнал керування положенням поршня $u_{КП}$ залежно від сигналу $u_{РР}$ (сигнал $u_{КП}$, у свою чергу, має форму прямокутних імпульсів для здійснення зворотно-поступального руху поршня); другий суматор для порівняння сигналів КП $u_{КП}$ та датчика положення ДП $u_{ДП}$ і формування помилки регулювання положення поршня $\varepsilon_{П}$; регулятор положення РП, який виробляє сигнал керування $u_{РП}$ відповідно до значення помилки $\varepsilon_{П}$ і подає його на модуль аналогового виводу МАВ. МАВ, у свою чергу, перетворює цифровий сигнал з ПЛК $u_{РП}$ на аналоговий сигнал керування електрокеруваним золотником $u_{ЕКЗ}$.

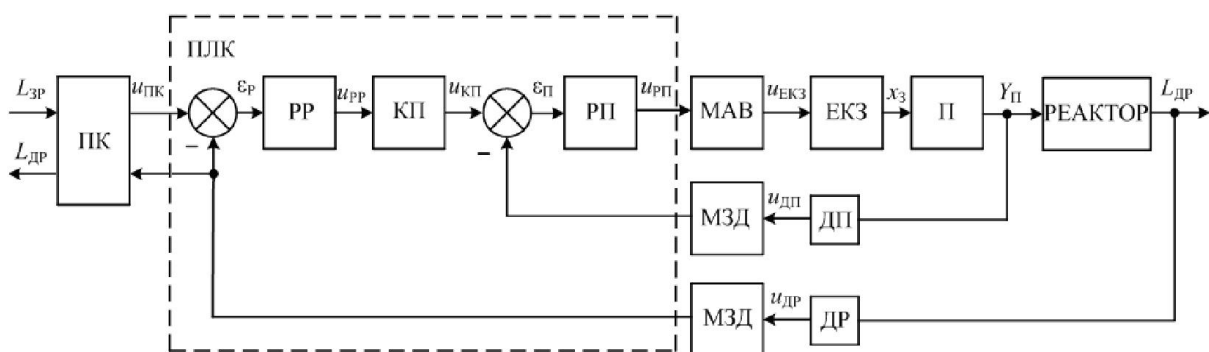


Рис. 1. Функціональна схема КСМАК рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ

Модулі збору даних МЗД перетворюють аналогові сигнали ДП $u_{ДП}$ та ДР $u_{ДР}$ у цифрові сигнали, що надходять до ПЛК. Також інформація про поточне значення рівня $L_{ДР}$ надходить із ПЛК до ПК, де вона відображується за допомогою спеціалізованого людино-машинного інтерфейсу. Аналоговий сигнал

$u_{ЕКЗ}$ з МАВ подається на ЕКЗ, що забезпечує лінійне переміщення x_3 золотника, якому відповідає лінійне переміщення плунжера Y_P . Здійснюючи зворотно-поступальний рух, плунжер завантажує відходи до реактора, змінюючи тим самим значення його рівня завантаженості $L_{ДР}$.

При зменшенні в процесі ЕПГ рівня завантаженості реактора $L_{ДР}$ вищенаведена КСМАК формує керувальний сигнал $u_{РР}$, згідно з яким гідропривід довантажує відходи до піролізного реактора [9].

Розробка поліметричної комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування (ПКСМАК) рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ

Непрямий метод вимірювання рівня базуються на обчисленні значення рівня завантаженості за допомогою вимірювання інших параметрів системи керування завантаженням реактора, таких як: витрата виділеного в процесі роботи піролізного газу, рідкого палива, температура в робочій зоні реактора та лінійне переміщення поршня. Для обчислення рівня завантаженості реактора в даному методі застосовується рівняння масового балансу робочої сировини:

$$M_{ВР} = M_{ЗВ} - (M_{ПГ} + M_{РП}), \quad (1)$$

де $M_{ВР}$ – маса відходів у реакторі;

$M_{ЗВ}$ – маса відходів, завантажених до реактору;

$M_{ПГ}$ – маса піролізного газу, що виділився в процесі роботи комплексу ЕПГ;

$M_{РП}$ – маса альтернативного рідкого палива, що виділилось в процесі роботи комплексу ЕПГ.

У свою чергу

$$M_{ЗВ} = \rho_{ДВ} S_{П} Y_{СП}; \quad (2)$$

$$M_{ПГ} = \rho_{ПГ} V_{ПГ} = \rho_{ПГ} \int Q_{ПГ} dt; \quad (3)$$

$$M_{РП} = \rho_{РП} V_{РП} = \rho_{РП} \int Q_{РП} dt; \quad (4)$$

$$L_P = \frac{M_{ВР}}{\rho_{ВР} S_P}, \quad (5)$$

де $\rho_{ДВ}$ та $\rho_{ВР}$, – значення щільності дроблених відходів, що завантажуються до бункеру плунжерної системи завантаження, та відходів, що знаходяться в реакторі під час роботи;

$\rho_{ПГ}$ та $\rho_{РП}$ – значення щільності піролізного газу та альтернативного рідкого палива відповідно;

$V_{ПГ}$, $Q_{ПГ}$, $V_{РП}$ та $Q_{РП}$ – значення об'єму та витрати піролізного газу та рідкого палива відповідно;

$S_{П}$ та S_P – площі поперечного перерізу поршня системи завантаження відходів та реактора відповідно;

$Y_{СП}$ – значення сумарного додатного лінійного переміщення поршня системи завантаження відходів;

L_P – значення рівня завантаженості реактора.

Значення щільності $\rho_{ДВ}$, $\rho_{ВР}$, $\rho_{ПГ}$ та $\rho_{РП}$ визначаються експериментальним шляхом для кожного типу робочої сировини (поліетилен, поліпропілен, полістирол); у свою чергу, значення щільності відходів, що знаходяться в реакторі під час роботи $\rho_{ВР}$ також залежить від їх температури $T_{ВР}$ та агрегатного стану ($\rho_{ВР} = f(T_{ВР})$). Значення витрати піролізного газу та рідкого палива, а також лінійного переміщення поршня системи завантаження $Q_{ПГ}$, $Q_{РП}$ та $Y_{СП}$ визначаються за допомогою датчиків витрати та лінійного переміщення.

На рис. 2 наведена функціональна схема ПКСМАК рівня завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ.

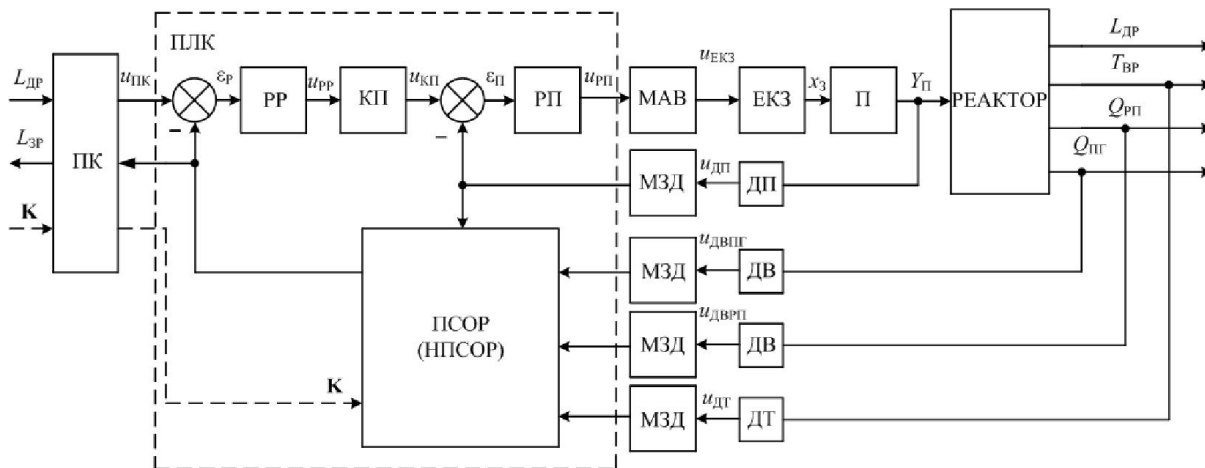


Рис. 2. Функціональна схема ПКСМАК рівня завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ

Підсистема обчислення рівня завантаженості реактора (ПСОП) отримує сигнали $u_{ДВПГ}$, $u_{ДВРП}$, $u_{ДТ}$ та $u_{ДП}$ від датчиків витрати, положення та температури ДВ, ДП та ДТ і на базі рівнянь (1)-(5) здійснює обчислення поточного значення рівня L_P . Значення щільності $\rho_{ДВ}$, $\rho_{ПГ}$, $\rho_{РП}$ та $\rho_{ВР}$ при різних температурах $T_{ВР}$ заносяться в ПСОП у вигляді матриці коефіцієнтів K для кожного типу робочої сировини при попередньому програмуванні.

При роботі з сумішшю різних типів сировини встановити значення щільності $\rho_{ДВ}$, $\rho_{ВР}$, $\rho_{ПГ}$ та $\rho_{РП}$ та залежності $\rho_{ВР} = f(T_{ВР})$ практично неможливо, тому в даному випадку доцільно застосовувати нечітку підсистему обчислення рівня (НПСОП), яка може бути синтезована на базі експертних даних.

Синтез підсистеми обчислення рівня завантаженості реактора на основі нечіткої логіки. ПКСМАК рівня завантаженості піролізного реактора

комплексу ЕПГ на базі НПСОР не потребує введення матриці коефіцієнтів **K** для кожного типу робочої сировини при попередньому програмуванні (рис. 2).

На вхід НПСОР подаються сигнали $u_{двпг}$, $u_{дврп}$, $u_{дг}$ та $u_{дп}$, які пропорційні змінним $Q_{пг}$, $Q_{рп}$, $T_{вр}$ та $Y_{сп}$, на виході формується сигнал $u_{др}$, що відповідає дійсному значенню рівня $L_{др}$. Також у блоці НПСОР сигнали $u_{двпг}$, $u_{дврп}$ попередньо інтегруються за часом для подальшої роботи з сигналами, пропорційними об'єму піролізного газу та рідкого палива. Дійсне значення рівня завантаженості реактора розраховується за формулою (6)

$$L_{др} = L_{пр} + L_0, \quad (6)$$

де $L_{пр}$ – поточне значення рівня, яке розраховується за допомогою нечіткого логічного висновку відповідно його вхідним змінним;

L_0 – початкове значення рівня.

При початковому завантаженні реактора $L_0 = 0$. При кожному подальшому довантаженні значення вхідних змінних $Q_{пг}$, $Q_{рп}$ та $Y_{сп}$ обнуляються, і початкове значення рівня дорівнює дійсному значенню $L_{др}$.

Розглянемо більш детально процедуру синтезу НПСОР типу Мамдані. Основними етапами нечіткого логічного висновку Мамдані типу є: фаззифікація, агрегація, активізація, акумуляція та дефаззифікація [10; 11; 12]. На етапі фаззифікації для кожної вхідної змінної визначається відповідне їй лінгвістичне значення та ступінь належності відповідній нечіткій множині [13]. У цьому випадку доцільно обрати такі лінгвістичні терми для вхідних та вихідної змінних, параметри яких наведені на рис. 3.

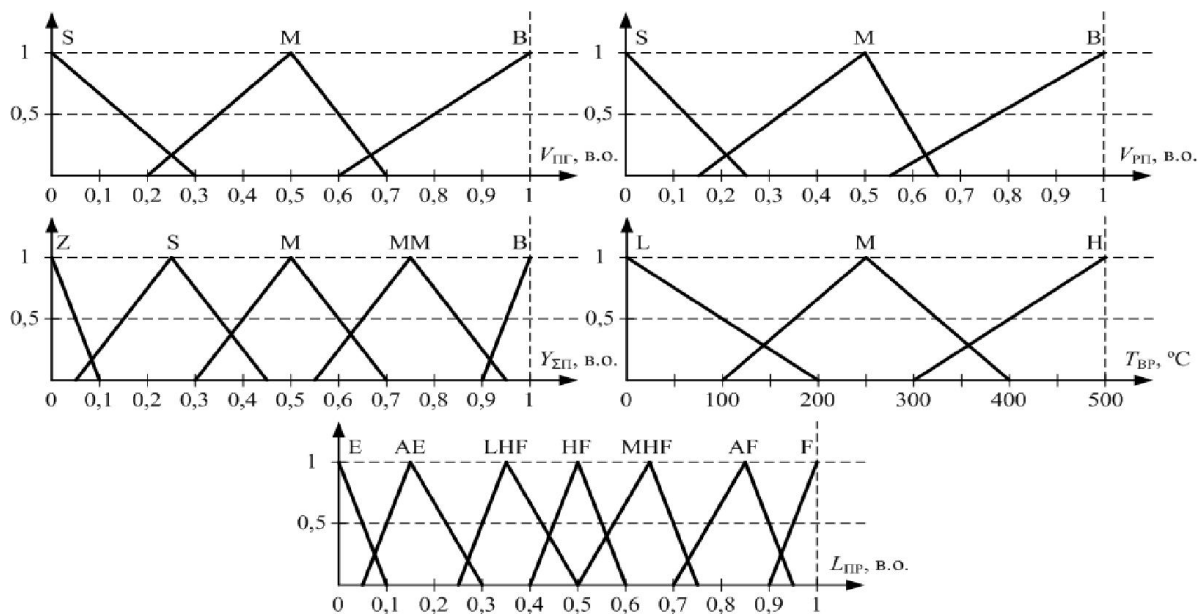


Рис. 3. Параметри лінгвістичних термів

Для вхідних змінних $Q_{пг}$, $Q_{рп}$, $Y_{сп}$ та вихідної змінної $L_{пр}$ діапазон значень визначається у відносних одиницях (в. о.). На рис. 3 прийнято такі позначення: Z – нульове; S – мале; M – середнє; MM – більше середнього; B – велике; L – низька; H – висока; E – пустий; AE – майже пустий; LHF – менше половини; HF – половина; MHF – більше половини; AF – майже повний; F – повний.

Для реалізації нечіткого логічного висновку сформуємо базу знань. Правила бази знань за

алгоритмом Мамдані є лінгвістичними твердженнями виду:

$$\text{ЯКЩО } \langle Y_{сп} = a \rangle \text{ I } \langle V_{пг} = b \rangle \text{ I } \langle V_{рп} = c \rangle \text{ I } \langle T_{вр} = d \rangle \\ \text{ТО } \langle L_{пр} = e \rangle,$$

де a, b, c, d, e – відповідні значення лінгвістичних термів.

Для даного випадку база правил складається з 135 правил, які відповідають всім можливим комбінаціям чотирьох вхідних нечітких змінних. Фрагмент бази правил НПСОР наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Фрагмент бази правил НПСОР

№ Правила	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	$V_{пг}$	$V_{рп}$	$T_{вр}$	$Y_{сп}$	$L_{пр}$
1	S	S	L	Z	E
3	S	S	L	M	HF
6	S	S	M	Z	E
13	S	S	H	M	LHF
15	S	S	H	B	F
60	M	S	H	B	E
75	M	M	H	B	AE
120	B	M	H	B	LHF
135	B	B	H	B	M

На наступному етапі (агрегація) визначаються ступені істинності для кожного з правил системи нечіткого висновку, а на етапі активізації реалізується процедура знаходження ступенів істинності кожного з підзаключень правил нечітких продукцій.

Подальшим етапом нечіткого логічного висновку є акумуляція, тобто процедура знаходження функцій належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних [10]. Метою акумуляції є об'єднання всіх вихідних лінгвістичних термів із відповідними ступенями істинності кожного з правил для отримання функції належності вихідної змінної. Таким чином, на етапі акумуляції формується результуюча функція належності для нечіткого рішення, яке потрібно перетворити в чітке значення вихідного сигналу. Процедура знаходження чіткого числового значення вихідного сигналу $L_{ПР}$ є процедурою дефазифікації.

Існує кілька методів дефазифікації: метод центру тяжіння, метод центру площини, метод лівого модального значення, метод правого модального значення та ін. [14; 15; 16]. Для даного випадку обираємо метод центру тяжіння, згідно з яким значення вихідного сигналу розраховується за формулою

$$L_{ПР} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot \mu(L_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(L_i)}, \tag{7}$$

де n – кількість значень вихідної лінгвістичної змінної;

L_i – i -те значення відповідної вихідної лінгвістичної змінної;

$\mu(L_i)$ – значення результуючої функції належності для відповідного значення L_i .

Характеристичні поверхні синтезованої НПСОР зображені на рис. 4.

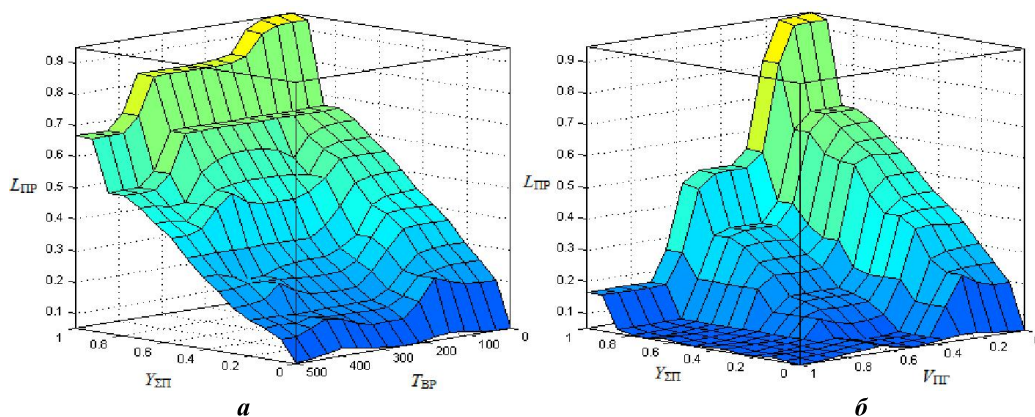


Рис. 4. Характеристичні поверхні НПСОР: а) $L_{ПР} = f(Y_{\Sigma П}, T_{ВР})$; б) $L_{ПР} = f(Y_{\Sigma П}, V_{ПГ})$

Моделювання ПКСМАК рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ з НПСОР. Комп'ютерне моделювання перехідних процесів ПКСМАК рівнем завантаженості піролізного реактора з НПСОР здійснено для експериментального комплексу ЕПГ з реактором об'ємом 100 літрів із максимальним рівнем його завантаженості 0,6 м та гідроприводом завантаження відходів потужністю 10 кВт з максимальним ходом його плунжера 0,6 м. Як регулятори положення поршня та рівня завантаженості

застосовані нейромережевий регулятор NARMA-L2 та двопозиційний регулятор, відповідно, синтез яких наведений у [9].

На рис. 5 представлені перехідні процеси ПКСМАК рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ з НПСОР, де прийнято такі позначення: $t_{ПЗ}$ – час початкового завантаження реактора; $t_{Н}$ – час нагріву відходів у реакторі; $t_{ПЛ}$ – час плавлення відходів; $t_{ДВ}$ – час довантаження відходів до реактора.

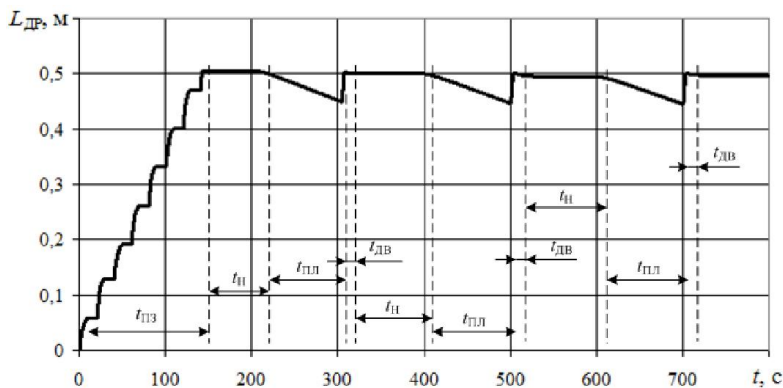


Рис. 5. Перехідні процеси ПКСМАК рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ з НПСОР при заданому значенні рівня $L_{ЗР} = 0,5$ м

Як видно з рис. 5, час початкового завантаження та довантаження відходів в процесі роботи реактора складають 155 с та 14 с, відповідно, а статична помилка керування рівнем становить не більше 1 %.

Проаналізувавши вищенаведені результати моделювання, можна стверджувати, що застосування розробленої ПКСМАК рівнем дає змогу забезпечувати моніторинг та автоматичне керування рівня завантаженості піролізного реактора з достатньо високою точністю, що, у свою чергу, значно підвищує економічні показники всього комплексу ЕПГ.

Висновки. У статті представлено розробку поліметричної комп'ютеризованої системи моніторингу та автоматичного керування рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ на основі

непрямого методу вимірювання рівня. Також наведено процедуру синтезу нечіткої підсистеми обчислення рівня типу Мамдані.

Застосування непрямого методу вимірювання рівня в даній комп'ютеризованій системі дає змогу вимірювати рівень завантажених до піролізного реактора відходів без датчика рівня з достатньо високою точністю.

Результати комп'ютерного моделювання показують, що поліметрична комп'ютеризована система моніторингу та автоматичного керування рівнем завантаженості піролізного реактора комплексу ЕПГ на базі нечіткої підсистеми обчислення рівня типу Мамдані має досить високі точність вимірювання та показники якості керування при роботі з сумішшю відходів різних типів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маркіна Л. М. Впровадження екологічно безпечної технології екопірогенезису при утилізації органічних побутових відходів з одержанням альтернативного палива [текст] / Л. М. Маркіна // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : НУК, 2011. – С. 457–460.
2. Пат. 52840 Україна, МПК F23G5/027, C10G1/00. Спосіб утилізації органічних відходів [текст] / Л. М. Маркіна, М. В. Рудюк, В. П. Бабій; заявл. 19.03.2001 ; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.
3. Пат. 77954 Україна, МПК F23B99/00, C10G3/20. Газогенератор двозонний [текст] / Л. М. Маркіна, С. С. Рижков, М. В. Рудюк, Кондратенко Ю. П. Коробко, О. В. Козлов ; заявл. 03.05.2012 ; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. – 9 с.
4. Рижков С. С. Експериментальні дослідження утилізації органічних відходів методом багатоконтурного циркуляційного піролізу [текст] / С. С. Рижков, Л. М. Маркіна // Збірник наукових праць НУК. – 2007. – № 5. – С. 100–106.
5. Кондратенко Ю. П. Аналіз комплексу задач та координат керування технологічним процесом екопірогенезису [текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов // Технічні вісті. – Вип. 1 (33), 2 (34). – 2011. – С. 13–16.
6. Кондратенко Ю. П. Функціональна структура та комп'ютерні компоненти системи керування багатоконтурною піролізною установкою [текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов // Вісник НУК, загальний за 2011 рік. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 413–423.
7. Кондратенко Ю. П. Нечіткі регулятори в системах керування реакторами багатоконтурних піролізних установок [текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов // Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – № 11. – С. 20–28.
8. Козлов О. В. Комбінована система автоматичного керування температурою нагріву піролізного реактору з нечіткими регуляторами [текст] / О. В. Козлов // Автоматика / Automatics – 2012 : матеріали 19 міжнародної конференції з автоматичного управління. – К : НУХТ, 2012. – С. 210–211.
9. Кондратенко Ю. П. Синтез системи керування рівнем завантаженості реактора технологічного комплексу екопірогенезису на базі нейрорегуляторів [текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – Вип. 1(40). – С. 122–131.
10. Гостев В. Выбор функций принадлежности и настройка нечетких регуляторов систем автоматического управления. Автоматизация производственных процессов [текст] / В. Гостев, В. Кражнев, С. Скрутов. – № 1 (14), 2002. – С. 162–167.
11. Hampel R. Fuzzy Control: Theory and Practice / R. Hampel, M. Wagenknecht and N. Chaker // Physika-Verlag, Heidelberg. – New York, 2000.
12. Ямпольський Л. С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні [текст] / Л. С. Ямпольський, Б. П. Ткач, О. І. Лісовиченко. – К. : ДП «Видавничий дім «Персонал», 2011. – 544 с.
13. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление [текст] / А. Пегат. – М. : БИНОМ Лаборатория Знаний, 2009. – 798 с.
14. Герасимов Б. М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации [текст] / Б. М. Герасимов, Г. Г. Грабовский, М. А. Рюшин. – К. : Техніка, 2002. – 140 с.
15. Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины [текст] / А. А. Каргин // Книга 1. Интеллектуальные регуляторы. – Донецк : Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
16. Zimmermann H. J. Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer Academic Publishers / H. J. Zimmermann. – Boston/Dordrecht/London. – 1992.

Рецензенти: Павлов Г. В., д.т.н., професор;
Мусієнко М. П., д.т.н., професор.

© Кондратенко Ю. П., Козлов О. В., 2013

Дата надходження статті до редколегії 26.04.2013 р.

КОНДРАТЕНКО Юрій Пантелійович, д.т.н., професор, Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.

КОЗЛОВ О. В., аспірант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна.