

Шувалов Д.Р.

Державний університет «Одеська політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПЕЧІ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

У статті досліджуються методи утилізація твердої фази відходів, що дозволить частково чи повністю розв'язати проблему забезпечення вітчизняних харчових підприємств теплом і паром для задоволення виробничих потреб, що особливо важливо в умовах подорожчання природного газу та інших енергоносіїв. У статті представлено розгорнутий програмний комплекс на базі SCADA – системи для лінії автоматизованого управління використання твердопаливних відходів як палива паралельно з газом, що забезпечує температурний контроль в печі і контроль нормативних показників продуктів горіння. Для побудови цього комплексу на першому етапі розроблено структурну схему об'єкту керування, на другому етапі у пакеті Matlab побудовано графіки кривих розгону об'єкту управління за різними каналами («витрата сміття – температура води» і «витрата сміття – концентрація кисню»; «витрата газу – температура води» і «витрата газу – концентрація кисню»; «витрата повітря – температура води» і «витрата повітря – концентрація кисню») під час нанесення одиничних збурень. На третьому етапі для визначення вхідних і вихідних аргументів використано автоматизовану систему управління, що створено на основі мікропроцесорного комплексу SIMATIC S7-400 компанії Siemens. Побудовано структурну схему імітаційного моделювання АСР. Обґрунтовано вибір регулятора і визначено його оптимальні налаштування для перехідного процесу регулювання. Побудовано FBD діаграму з використанням програмного забезпечення SCADA TRACE MODE IDE 6. Після розробки діаграми на основі зроблених нами обчислень було налаштовано програмне забезпечення для лінії автоматизованого управління використання твердопаливних відходів як палива паралельно з газом, що забезпечує температурний контроль в печі і контроль нормативних показників продуктів горіння. У дослідженні науково обґрунтовано формування робочих моделей, вхідних і вихідних даних і створено програму «АРМ оператора», яка реалізує автоматизоване робоче місце оператора технологічного процесу управління нагріву у трубчастій печі з урахуванням неоднорідності палива.

Ключові слова: автоматизована система регулювання печі, SCADA-системи, утилізація твердої фази відходів, мікропроцесорний комплекс SIMATIC, управління нагріву у трубчастій печі, неоднорідне паливо.

Постановка проблеми. Сьогодні однією з актуальних проблем в Україні є забруднення навколишнього середовища промисловими відходами, серед яких є і відходи харчових виробництв (спиртова барда, пивна дробина, буряковий жом, кавовий і ячмінний шлами тощо). У більшості випадків ці відходи виливають на спеціалізовані земельні ділянки, що призводить до погіршення екологічної ситуації у відповідному регіоні, тому завдання пошуку більш безпечних для довкілля способів утилізації таких відходів залишається досить актуальним. На думку спеціалістів, раціональним є поділ відходів на тверду та рідку фази, після чого першу можна використовувати як добавку до сільськогосподарських кормів або в якості палива, тоді як рідка фаза (вода) повертається у виробничий процес [1].

Утилізація твердої фази відходів дозволить частково чи повністю розв'язати проблему забезпечення вітчизняних харчових підприємств

теплом і паром для задоволення виробничих потреб, що особливо важливо в умовах подорожчання природного газу та інших енергоносіїв, тому у статті запропоновано використання спеціального високоефективного обладнання для спалювання відходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання автоматизації постачання неоднорідного палива (газ + тверді побутові відходи) і контролю процесу в печі для виготовлення цементу розглянуто в дослідженні Юськів А.С. [2]. У цьому дослідженні для вирішення задач створення надійної системи диспетчерського управління створено систему на основі SCADA-системи [3]. Принцип розробки проектів у SCADA-системі TRACE MODE полягає у створенні віртуальних органів управління і контролю (щитів, пультів операторів, віртуальних регуляторів). У дослідженні [2] всі датчики і виконавчі механізми процесу були підключені до віртуального контролера, який

здійснює управління через командну панель. Інтелектуалізація традиційних SCADA систем шляхом застосування експертної системи – один із головних шляхів розвитку засобів штучного інтелекту. Створення експертної системи за рахунок відкритості подання знань про об'єкт управління, адаптування системи до умов функціонування, автоматична корекція керуюча наслідком при зміні істотних параметрів в процесі функціонування було розглянуто у Черкаському державному технологічному університеті [4]. Було вивчено сучасні наукові рекомендації щодо вибору програмованих контролерів для зняття основних показників роботи печі і їх програмної обробки [5; 6]. Автоматизовану систему управління створено з використанням мікропроцесорного комплексу SIMATIC S7-400. Для побудови автоматизованої системи регулювання печі для спалювання органічних відходів використовується технологія переробки ТПВ (твердопаливних відходів) методом газифікації і плавлення японської компанії Mitsubishi Heavy Industries Environmental & Chemical Engineering (МНІЕС). Ця технологія відноситься до так званих технологій третього покоління і дозволяє знизити обсяг відходів, які направляються на поховання, в 6-8 разів у порівнянні з технологією «стокер» [7; 8].

Постановка завдання. Мета статті – розробити програмний комплекс на базі SCADA-системи для лінії автоматизованого управління використання твердопаливних відходів як палива паралельно з газом, що забезпечує температурний контроль у печі і контроль нормативних показників продуктів горіння.

Метою розробки системи є створення програми «АРМ оператора», яка реалізує автоматизоване робоче місце оператора технологічного процесу управління нагріву нафтопродуктів у трубчастій печі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Програмне забезпечення розроблено в SCADA TRACE MODE IDE 6. Для розробки програми в Trace Mode треба розпочати так званий проект. Проект складається з ресурсів (графічні елементи, анімація та ін.), шаблонів програм, шаблонів екранів, шаблонів документів, бібліотеки компонентів та системи вузлів. Вузол – це компонент, який описує сукупність інформаційних каналів (параметрів), екранів, програм, документів. Першим етапом рішення нашої задачі є побудова FBD діаграми. Це можливо після визначення вхідних і вихідних аргументів.

З урахуванням того, що значення коефіцієнтів передачі та постійні часу були надані як завдання

до дослідження, структурна схема об'єкта має вигляд, наведений на рисунку (рисунок 1). Ця математична схема моделі печі є основою для побудови кривих розгону у пакеті Matlab. Криві розгону об'єкта управління по каналу «витрата сміття – температура води» і «витрата сміття – концентрація кисню» під час нанесення одиничних збурень (рисунок 2). Криві розгону об'єкта управління по каналу «витрата газу – температура води» і «витрата газу – концентрація кисню» під час нанесення одиничних збурень (рисунок 3). Криві розгону об'єкта управління по каналу «витрата повітря – температура води» і «витрата повітря – концентрація кисню» під час нанесення одиничних збурень (рисунок 4).

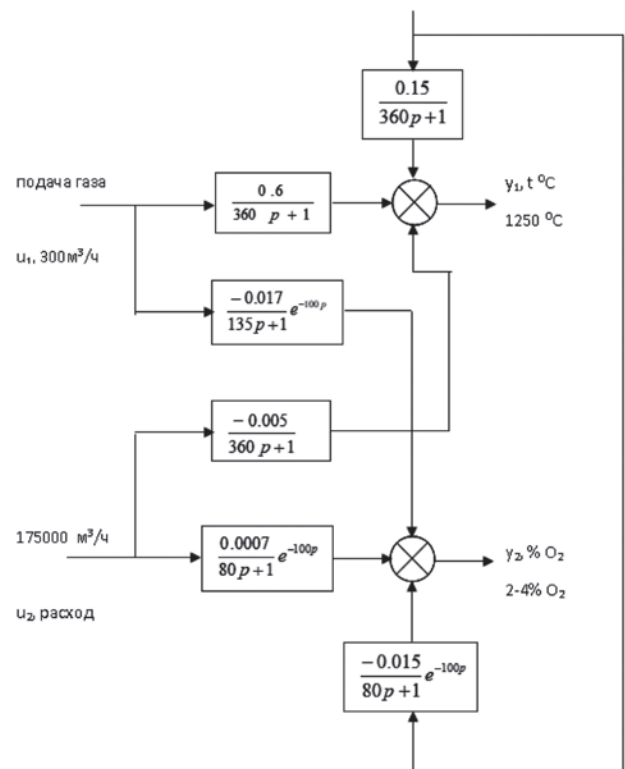


Рис. 1. Структурна схема математичної моделі печі

Для визначення вхідних і вихідних аргументів скористаємось автоматизованою системою управління, створеною на основі мікропроцесорного комплексу SIMATIC S7-400.

Система забезпечує виконання таких функцій:

- 1) автоматичний збір та обробка інформації про технологічний процес;
- 2) автоматична стабілізація параметрів технологічного процесу в режимі прямого цифрового управління;
- 3) автоматична сигналізація про відхилення технологічних параметрів за допустимі межі;
- 4) автоматичний протиаварійний захист;

5) контроль стану основного технологічного обладнання та машин;

6) автоматичне протоколювання відхилень від номінальних значень параметрів технологічного процесу і спрацьовування захистів і блокувань;

7) автоматична друк звітних документів.

Для забезпечення надійної та економічної роботи трубчастої печі передбачені такі контрольно-вимірювальні прилади:

1) для контролю температури;

2) для контролю тиску;

3) для вимірювання витрати газу;

4) регулюючі клапани Samson типу 3335/3278, використовувані в системі управління технологічним процесом із застосуванням засобів АСУ ТП (твердого палива), оснащені електропневматичними позиціонерами, з можливістю управління сигналом 4-20 мА і HART-протоколу. Регулюючі клапани комплектуються пневматичним приводом, електропневмопозиціонер з вхідним керуючим сигналом 4-20мА, редуктором тиску повітря з фільтром і відповідними фланцями;

5) в ролі відсікачів застосовані клапани із пневматичним приводом простого дії з поверненням в положення безпеки під дією пружини і запірно-регулюючі клапани, в яких функція відсічення поєднана з функцією регулювання. Відсічні і запірно-регулюючі клапани забезпечені кінцевими вимикачами, відповідними фланцями, соленоїдними клапанами, електропневмоперетворювачами. Клапани-відсічні і запірно-регулюючі клапани використовуються в схемах протиаварійного захисту і відсічення технологічних блоків на установці під час виникнення аварійних відхилень від норм параметрів процесу.

Для збору і обробки інформації встановлено програмований контролер SIMATIC S7-400 компанії Siemens, який включає в себе:

1) модуль центрального процесора;

2) сигнальні модулі, призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів;

3) вбудований блок живлення з вихідною напругою = 24В. Для живлення центрального процесора і інших модулів контролера використовується блок

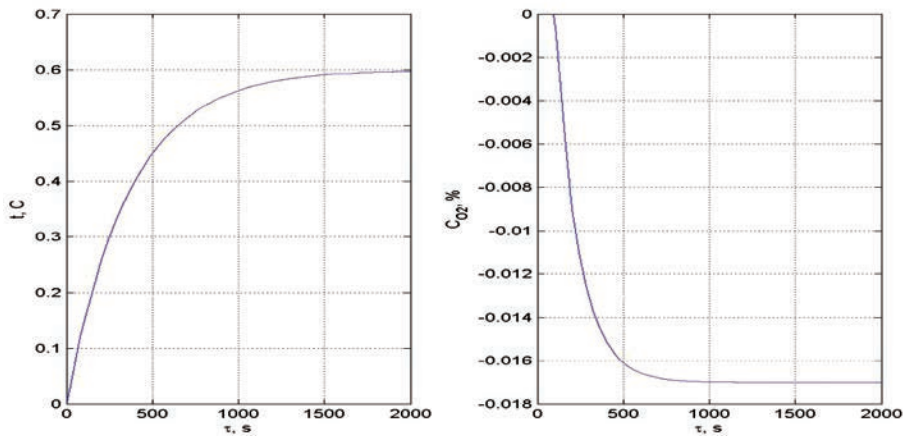


Рис. 2. Криві розгону «витрата сміття – температура води» і «витрата сміття – концентрація кисню»

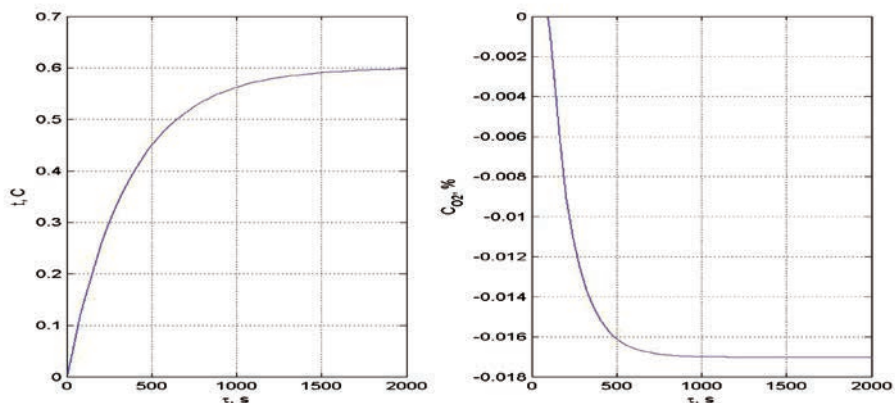


Рис. 3. Криві розгону «витрата газу – температура води» і «витрата газу – концентрація кисню»

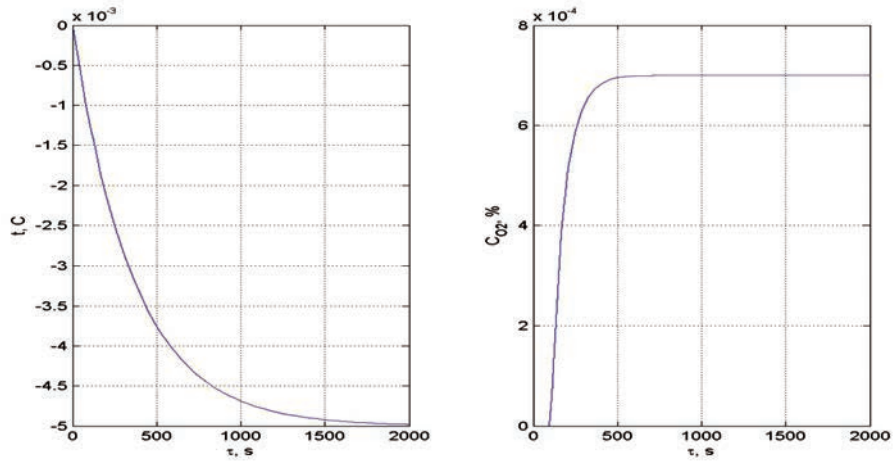


Рис. 4. Криві розгону «витрата повітря – температура води» і «витрата повітря – концентрація кисню»

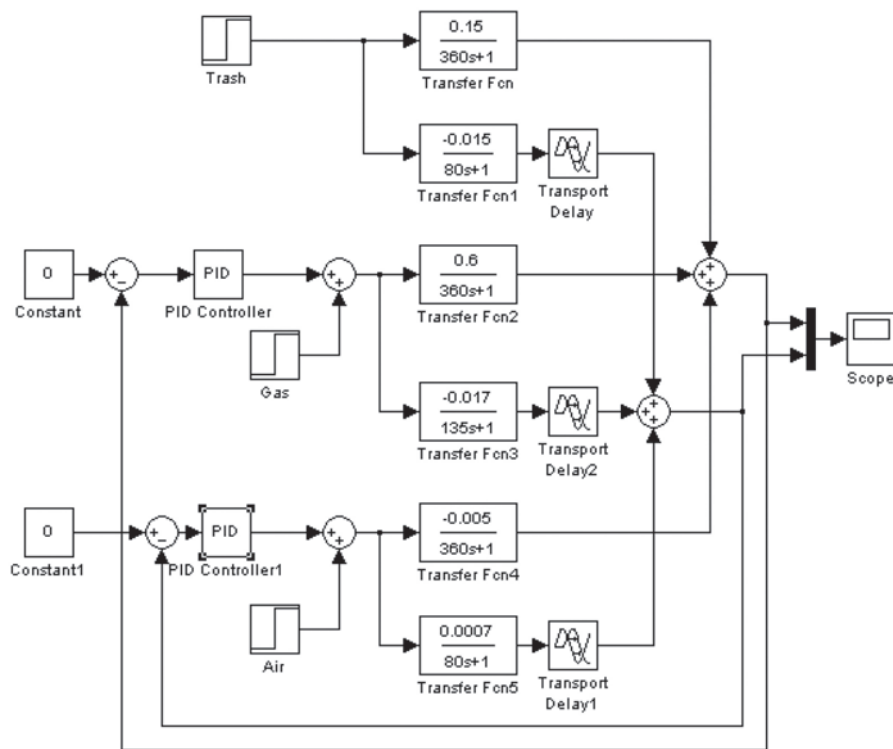


Рис. 5. Структурна схема імітаційного моделювання АСР

живлення PS 405, який використовує для своєї роботи вхідну напругу постійного струму.

Для візуалізації операторського інтерфейсу встановлений промисловий комп'ютер SIMATIC Panel PC IL 77.

Лінійність видаткової характеристики регулюючого клапана, а отже, стійкість системи регулювання до різних впливів технологічного процесу залежить від обраного типу і розміру регулюючого органу. Для регулювання витрати подачі газу на пальники засто-

совується поворотна заслінка на спільній ділянці газопроводу після ПКН (запобіжного клапана низького тиску). Виберемо типорозмір заслінки, побудуємо видаткову характеристику і визначимо коефіцієнт передачі регулюючого органу (РО). Вихідні дані для розрахунку зведені в таблицю 1.

Складемо структурну схему автоматизованої системи регулювання (АСР) в програмному пакеті Simulink (Рисунок 5) і розрахуємо настройки регулятора для подальшого дослідження АСР на ЕОМ.

Використовуємо регулятор і визначимо оптимальні настройки вибраного регулятора для перехідного процесу регулювання. Обробивши криву розгону по каналу «витрата гарячої води -> температура повітря», ми отримали настройки:

$$K_p = 0.6 \frac{^{\circ}C}{кг / с} \quad T = 360 \text{ с} \quad \tau_{ay} = 1 \text{ с}$$

Розрахуємо настройки ПІД регулятора за методикою А.П. Копеловіча

$$K_p = \frac{1.2}{K_{об} * \tau_{ay} / T} = \frac{1.2}{0.6 * 1 / 360} = 720$$

$$T_i = 2 * \tau_{ay} = 2 * 1 = 2$$

$$T_d = 0.4 * \tau_{ay} = 0.4 * 1 = 0.4$$

Звідси:

P складник ПІД регулятора $K_p = 720$

I складник ПІД регулятора $K_p / T_i = 720 / 2 = 360$

D складник ПІД регулятора $K_p * T_d / T_i = 720 * 0.4 / 2 = 144$

Вибрані параметри не задовольняють заданому якості, тому вони були скориговані: $P = 720$; $I = 40$; $D = 0$.

Згідно з отриманими результатами обчислення побудуємо графіки перехідних процесів регулювання температури та концентрації кисню на виході печі для спалювання відходів (рисунок 6).

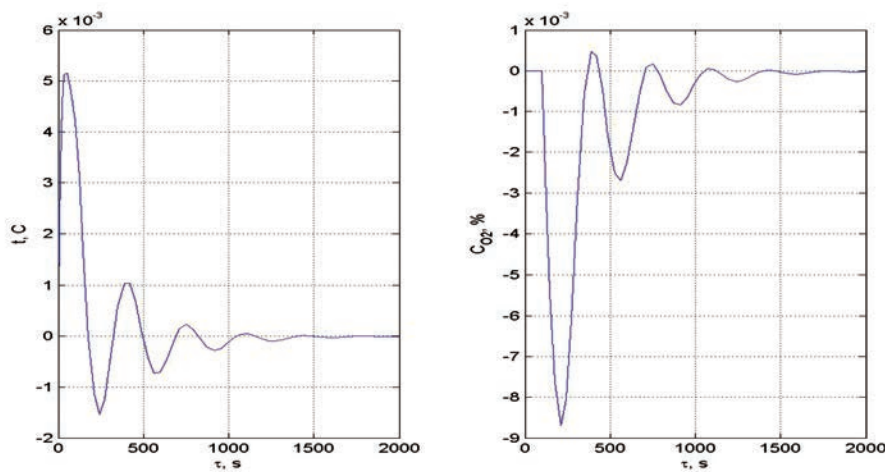


Рис. 6. Перехідні процеси регулювання температури та концентрації кисню на виході печі для спалювання відходів

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку РО

№ п.п.	Найменування параметру	Умовне позначення	Одиниця виміру	Величина
1.	Щільність вуглеводневого газу при нормальних умовах	$r_{гв}$	кг/м ³	2.233
2.	температура газу	t_1	°C	10
3.	Надлишковий тиск	P_1	МПа	0.03
4.	барометричний тиск	$P_б$	МПа	0.1011
5.	Витрата нагрівається мазуту	D_1	т/ч кг/с	169.3 47.03
6.	Ентальпія мазуту на вході	$I_{вх}$	ккал/кг кДж/кг	210 880
7.	Ентальпія мазуту на виході	$I_{вых}$	ккал/кг кДж/кг	257 1077
8.	Нижча теплота згоряння газу	$Q_{н}^p$	кДж/м ³	101300
9.	ККД брутто	h	%	97.0
10.	Диаметр газопровода	$D_{гп}$	мм	100
11.	Втрата напору в газопроводі при повністю відкритій заслінці	$DP_{п}$	МПа Н/м ²	0,003 3000
12.	Коефіцієнт витрати поворотною заслінки представлений на рисунку 5	a_m		

На цьому етапі ми отримали всі необхідні дані для побудови FBD діаграми з використанням програмного забезпечення SCADA TRACE MODE IDE 6. Після розробки діаграми на основі зроблених нами обчислень було налаштовано програмне забезпечення для лінії автоматизованого управління використання твёрдопаливних відходів як палива паралельно з газом, що забезпечує темпе-

ратурний контроль в печі і контроль нормативних показників продуктів горіння.

Висновки. У дослідженні науково обґрунтовано формування робочих моделей, вхідних і вихідних даних і створено програми «АРМ оператора», яка реалізує автоматизоване робоче місце оператора технологічного процесу управління нагріву у трубчастій печі з урахуванням неоднорідності палива.

Список літератури:

1. Севостьянов И.В. Процессы и оборудование для виброударного разделения пищевых отходов : монография. Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 417 с. ISBN 978-3-659-47395-1.
2. Юськів А.С. Розробка в Scada-системі імітаційної моделі введення в цементну піч додаткового палива, виробленого з побутових відходів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* Том 29(68). Ч. 2. № 5. 2018. С. 94–99. URL : http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2018/5_2018/part_2/19.pdf (дата звернення: 16.09.2021).
3. Гурьянов Л.В., Кондратьев Р.Ю., Прошин Д.И. SCADA КРУГ-2000® Новые горизонты применения. *Вісник ИСУП.* 2009. № 2(22). URL : <https://isup.ru/articles/2/322/> (дата звернення: 16.09.2021).
4. Катаева С.Ю., Павлов А.В. АСУ ТП SCADA-SYSTEM в застосуванні інтелектуалізації проектування технологічного процесу. *Young Scientist. Технічні науки.* № 10(50). October, 2017.
5. Галкін П.В., Ключник І.І. Програмування ПЛК в CODESYS : навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А.М., 2019. 92 с. ISBN 978-617-7722-62-4.
6. Ritu Shakya, Kritika Rajanwal, Sanskriti Patel, Smita Dinkar. Design and Simulation of PD, PID and Fuzzy Logic Controller for Industrial Application. *International Journal of Information and Computation Technology.* ISSN 0974-2239 Volume 4, Number 4(2014), pp. 363–368.
7. О реализации проекта строительства мусороперерабатывающего завода по технологии газификации и плавления Мицубиси на территории республики Бурятия. URL : <https://www.uncrd.or.jp/content/documents/3205Parallel%20Session-5-Presentation-3-%D0%90%D1%80%D0%B0%D0%B8.pdf> (дата звернення: 19.09.2021).
8. Tomomichi Egusa, Wataru Suzuki, Keiichi Hayashi. Introduction of Remote Monitoring and Operational Support Systems Aiming at Optimal Management of Waste to Energy Plants. *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review* Vol. 57 No. 2 (June 2020). URL : <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e572/e572040.pdf> (дата звернення: 19.09.2021).

Shuvalov D.R. AUTOMATED FURNACE CONTROL SYSTEM FOR ORGANIC WASTE INCINERATION

The article examines the methods of solid waste disposal, which will partially or completely solve the problem of providing domestic food companies with heat and steam to meet production needs, which is especially important in the face of rising prices for natural gas and other energy sources. The article presents a comprehensive software package based on SCADA – a system for automated control of solid fuel waste as a fuel in parallel with the gas, which provides temperature control in the furnace and control of normative indicators of combustion products. To build this complex at the first stage developed a block diagram of the control object, at the second stage in the Matlab package built graphs of the acceleration curves of the control object on different channels (“garbage flow – water temperature” and “garbage flow – oxygen concentration”; “gas consumption – water temperature” and “gas consumption – oxygen concentration”; “air flow – water temperature” and “air flow – oxygen concentration”) when applying single perturbations. In the third stage, an automated control system based on the Siemens SIMATIC S7-400 microprocessor complex was used to determine the input and output arguments. The structural scheme of simulation modeling of ACP is constructed. The choice of the regulator is substantiated and its optimal settings for the transient process of regulation are determined. FBD diagram was built using SCADA TRACE MODE IDE 6 software. combustion. The study scientifically substantiates the formation of working models, input and output data and created a program “Workstation operator”, which implements an automated workplace operator technological process of heating control in a tubular furnace, taking into account the heterogeneity of fuel. Experimental application of research results is substantiated by a mathematical apparatus, software is developed. At present, the experimental implementation of the results is being carried out, which will be covered in further work.

Key words: automated furnace control system, SCADA – systems, solid phase waste disposal, SIMATIC microprocessor complex, control of heating in a tubular furnace, inhomogeneous fuel.