

УДК 681.51

Юськів А.С.

Одеський національний політехнічний університет

Харабет О.М.

Одеський національний політехнічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВВЕДЕННЯМ У ЦЕМЕНТНУ ПІЧ ДОДАТКОВОГО ПАЛИВА, ВИРОБЛЕНОГО З ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО Й ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАСОБУ ОДНОЧАСНО

У статті розглянуто можливість модернізації процесу вироблення цементного клінкеру шляхом часткової заміни природного газу на тверде відновлюване паливо, отримане з побутових відходів. Синтезовано та досліджено математичну модель системи автоматичного регулювання співвідношення «тверде паливо – газове паливо».

Ключові слова: виробництво цементу, обертова піч, клінкер, тверде відновлюване паливо, система автоматичного регулювання.

Постановка проблеми. Україна має всі шанси посісти одне з провідних місць на європейському ринку виготовлення будівельних матеріалів, а саме в цементній промисловості.

Цементна промисловість потребує великої кількості палива, головно природного газу. Питома вага газу в собівартості клінкеру складає зазвичай 60–70% [1]. Щоб знизити витрати на виробництво клінкеру, наші європейські сусіди навчилися використовувати в цементних печах альтернативні види палива, наприклад, SRF (solid recovered fuel) – тверде відновлюване паливо, отримане з твердих відходів. Спалювання такого виду додаткового палива разом із традиційним дасть значну економію при збереженні високої якості виготовленого цементу. Одночасно буде вирішуватися друга актуальна проблема – позбавлення населених пунктів від побутових відходів. Тому має сенс модернізувати цементні заводи шляхом використання в трубних обертових печах додаткового палива, виробленого з побутових відходів. Оскільки гранули додаткового палива не є рівномірними, виникає проблема їх автоматичного дозування перед введенням у піч.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Про можливість використання твердого відновлюваного палива в цементній промисловості було сказано в публікації [5]. У цій публікації розглянуті енергетичні й екологічні переваги й компроміси

відносно конверсії нерезициркуляційних пластмас і волокон, одержаних у колишніх споживачів пластмас, і волокон, отриманих із потоків залишків MRF, у SRF для використання в цементній печі. Але авторами не розглядалися як питання автоматичного управління режимами обертової печі, так і управління ділянкою одночасного спалення газу та гранул, вироблених із відходів.

Постановка завдання. Потрібно модернізувати процес вироблення цементного клінкеру шляхом часткової заміни природного газу на тверде відновлюване паливо, отримане з побутових відходів, вирішити проблеми, пов'язані зі зберіганням, дозуванням і перерозподілом між потоками палива – основного та додаткового. Таким чином, предметом дослідження є вирішення задач автоматичного управління дозуванням, вимірюванням потоку гранул і конструювання системи управління співвідношенням «тверде паливо – газове паливо».

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 показано, яким чином здійснюється традиційне виготовлення цементного клінкеру в обертовій трубній печі. Компоненти, з яких має бути одержаний клінкер, подаються за допомогою дозаторів у підняту частину печі. Під дією власної ваги та пересипання в порожнині печі вони поступово пересуваються до її найбільш нагрітої частини – плавильної зони. Уздовж печі відбуваються

фізико-хімічні перетворення, у результаті яких мінерали втрачають структурну вологу. У плавильній зоні відбувається спалення основної частини природного газу. Тут розплавлений клінкер проходить кінцеву обробку, а далі витікає з печі, гранулюється в контакті з водою та прямує на осушення й подрібнення до стану цементу. Продукти

згоряння прямують до виходу з печі, поступово охолоджуючись. Далі вони проходять очищення від пилу та через димову трубу потрапляють в атмосферу. Температура в плавильній зоні печі є визначальною для якості клінкеру, тому вона ретельно вимірюється та підлягає регулюванню [1]. Традиційна технологія є досить збалансова-

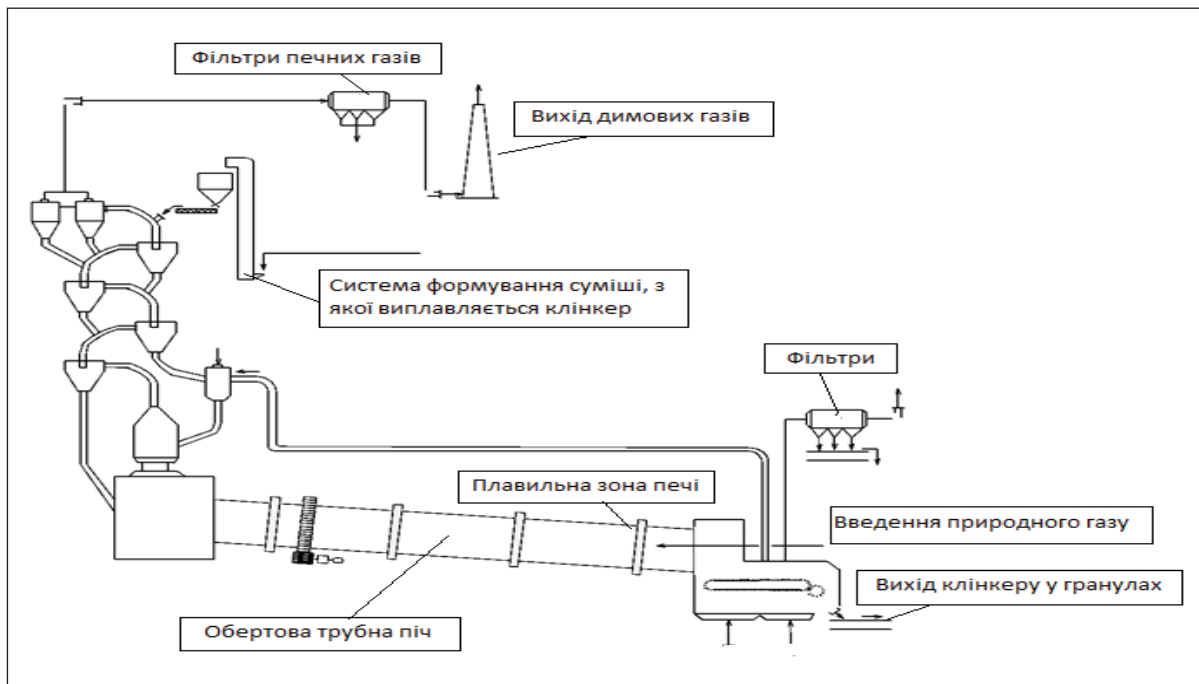


Рис. 1. Технологічна схема виплавляння клінкеру в обертовій трубній печі до модернізації

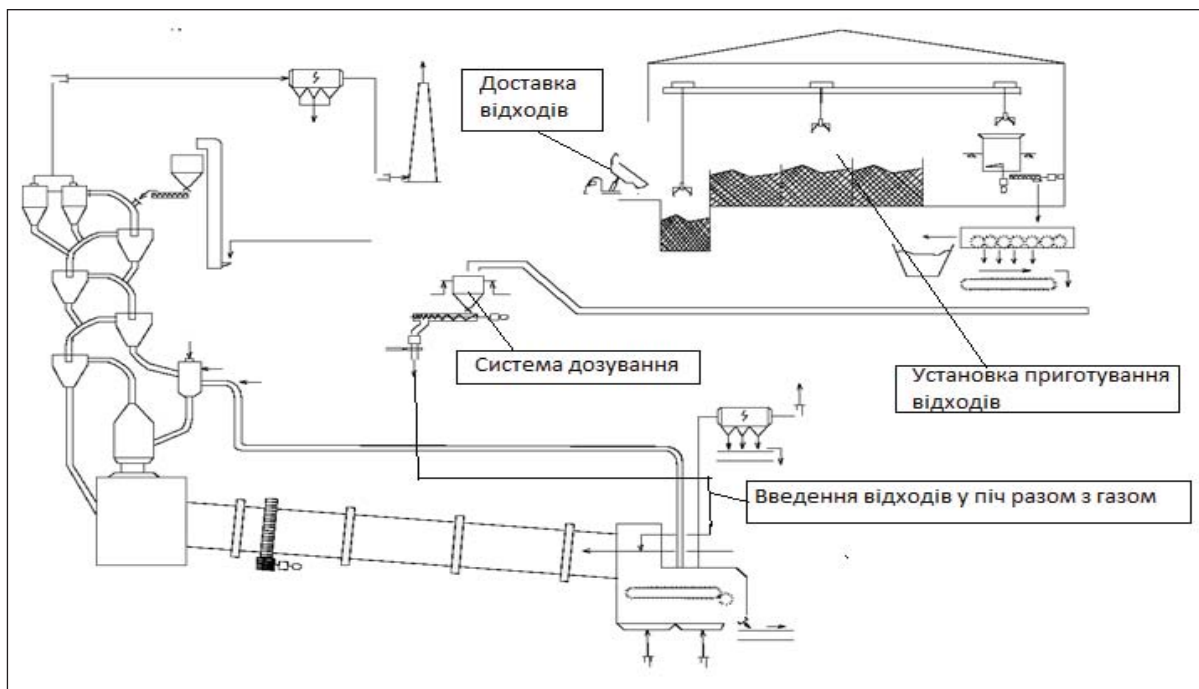


Рис. 2. Технологічна схема виплавляння клінкеру після модернізації.
Додаткові елементи: засоби доставки відходів; установка для приготування гранул із відходів; системи дозування та введення відходів в обертову піч

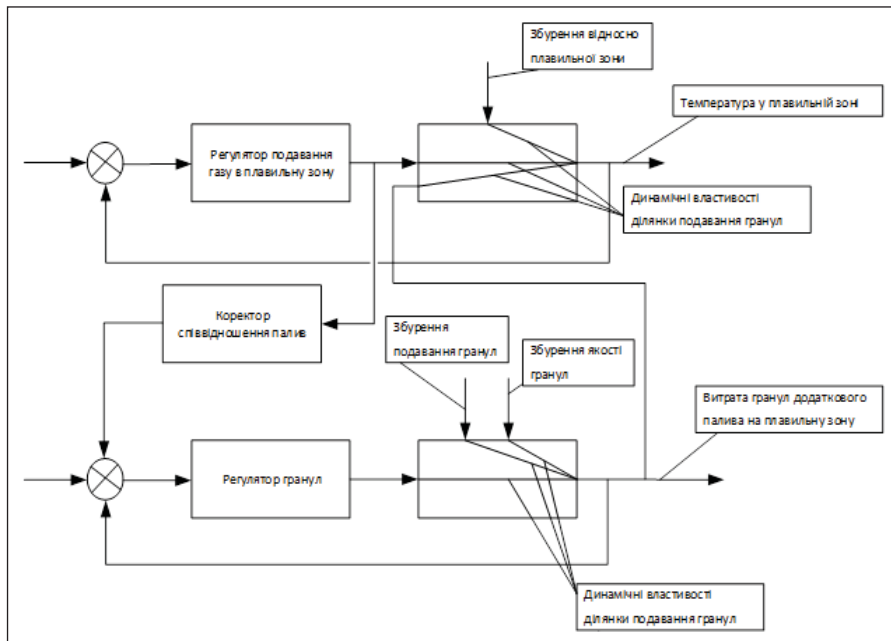


Рис. 3. Структура системи регулювання співвідношення «газ – гранули»

ною, але потерпає від постійного зростання цін на природний газ. Тому й була поставлена така задача – використати в якості додаткового палива побутові відходи.

Схема, яка реалізує цю ідею, зображена на рис. 2. Тут показані додаткові елементи, які необхідно додати до традиційної схеми. Вони виділені на рис. 2 відповідними написами. По-перше, це система, що забезпечує доставку та прийом побутових відходів, які пройшли попереднє сортування. На другому етапі відбувається виготовлення горючих гранул. Гранули потрапляють у бункер системи дозування, а далі транспортуються до зони спалення разом із відповідною кількістю підігрітого повітря [2].

Далі потрібно вирішити, яка структура системи управління співвідношенням «газ – гранули» потрібна для високоефективного вирішення поставленої задачі.

Для формулювання задачі регулювання співвідношення потрібно навести структуру системи, що має бути спроектована. Покажемо її на рис. 3.

Наведена система не потребує дослідження на стабільність, оскільки її склад не містить елементів із нетиповими для промисловості характеристиками. Подібні системи використовуються для регулювання співвідношення «паливо – повітря», де вони добре себе проявили. Відмінність полягає лише в тому, що гранули є паливом непостійного складу, отже, теплота горіння буде різною, тому потрібно вимірювати температуру в зоні спікання й робити поправку на регулятор подачі гранул.

Для того, щоб змоделювати співвідношення «газ – гранули», отримати криві розгону й перехідні процеси, потрібно знайти коефіцієнт передачі й постійні часу, представити їх у вигляді передаточних функцій.

Коефіцієнт передачі по каналу газу знаходимо за відношенням зміни температури до витрати газу. Потрібна температура в зоні спікання – 1300°C, норма витрати газу (орієнтовно) – 2000–2500 м³/год, максимальне відхилення подачі газу – 500 м³/год, відхилення температури – 50°C [1].

$$K_p = \frac{Y}{X} = \frac{(1300 - 50)}{(2500 - 500)} = 0.625 \frac{^\circ\text{C}}{\text{м}^3 / \text{год}}, \quad (1)$$

Також знайдемо постійну часу, оскільки процес горіння газу відбувається майже миттєво, то постійна часу дорівнює $T = 5$ с. Оскільки температура в камері вимірюється за допомогою пірометра, то він додасть інерційності цьому каналу. Це становитиме 5 с, плюс чисте запізнення – 2 с.

Тоді передаточна функція по каналу газу набуде такого вигляду:

$$W(s)_g = \frac{0.625}{5s + 1} \cdot e^{-7z}, \quad (2)$$

Канал збурення відносно плавильної зони: коефіцієнт передавання менший на 20%, а постійна часу – на 20% більше.

Коефіцієнт передачі по каналу гранули знайдемо також за відношенням зміни температури до витрати гранул. Витрата гранул (орієнтовно) – 3580 кг/год. При теплотворній здатності 20 МДж/кг максимальне відхилення подачі гранул беремо 580 кг/год [4].

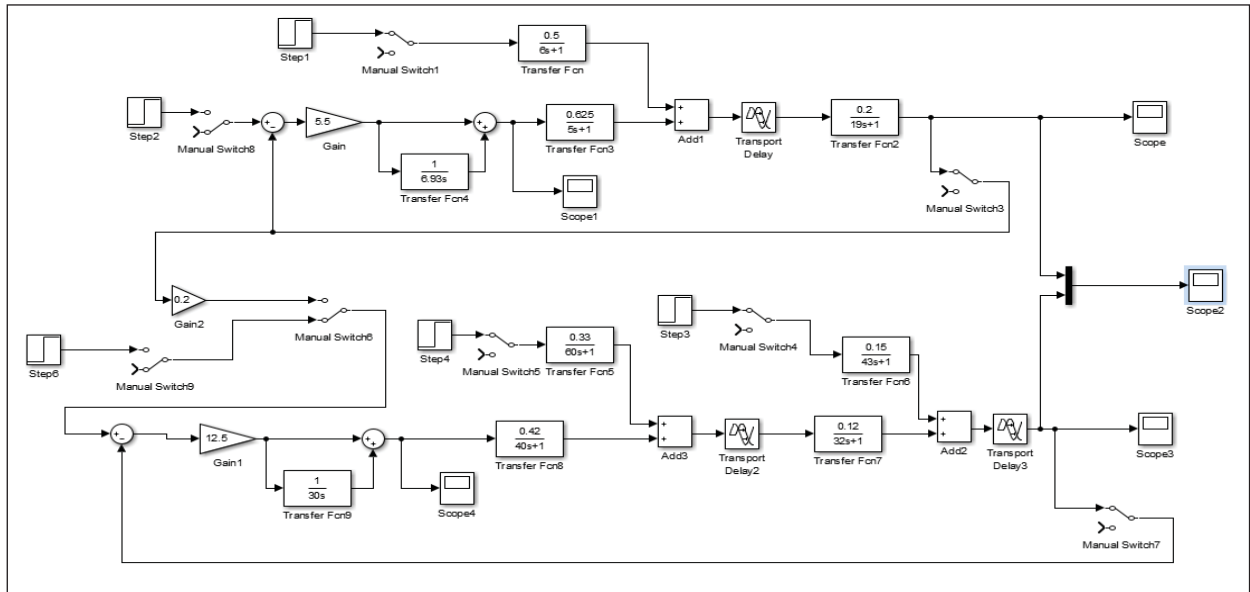


Рис. 4. Модель системи управління співвідношенням «газ – гранули»

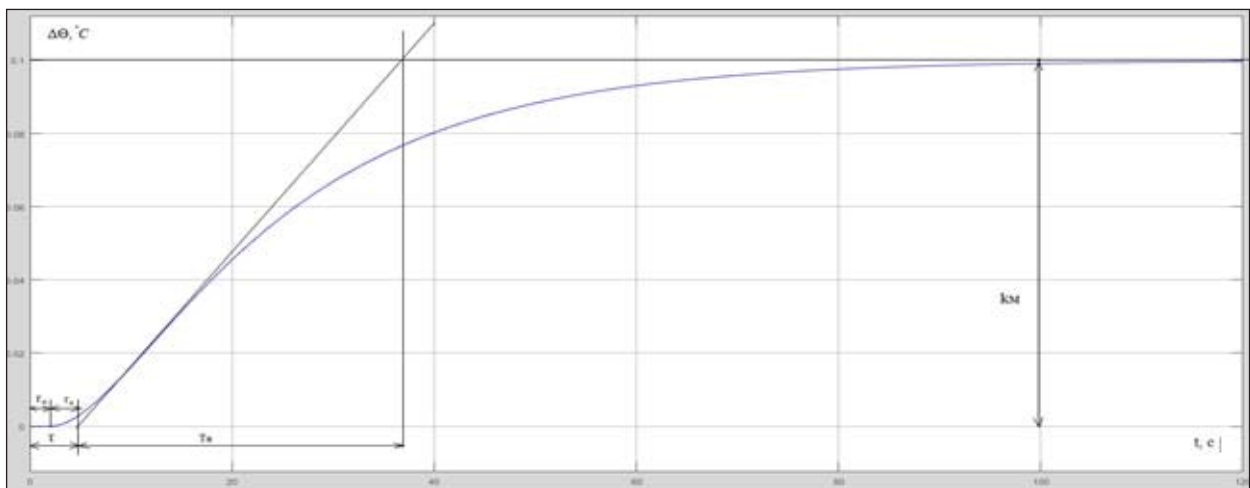


Рис. 5. Крива розгону по каналу подачі природного газу

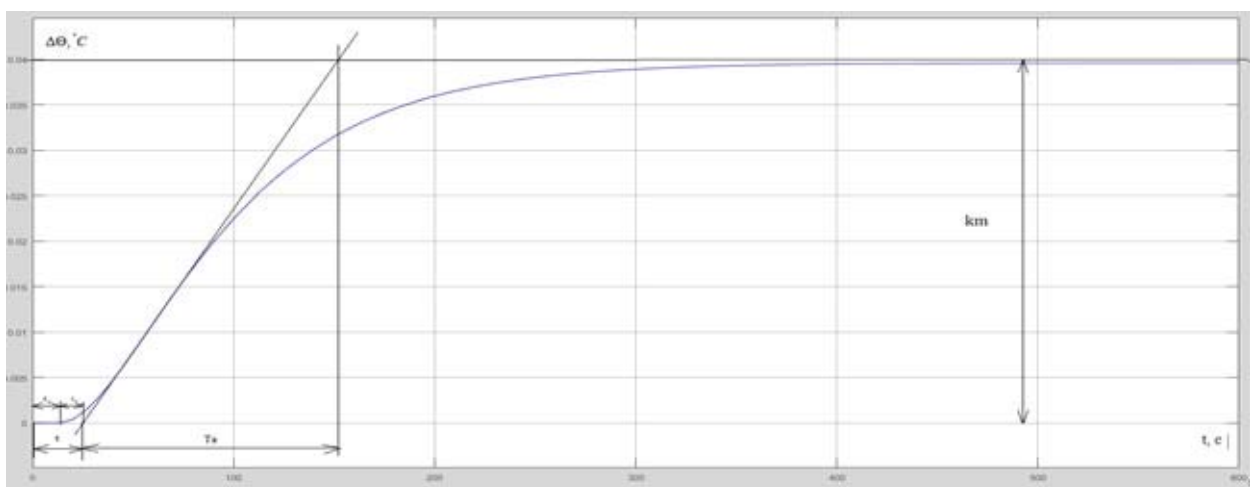


Рис. 6. Крива розгону по каналу подачі гранул, вироблених із відходів

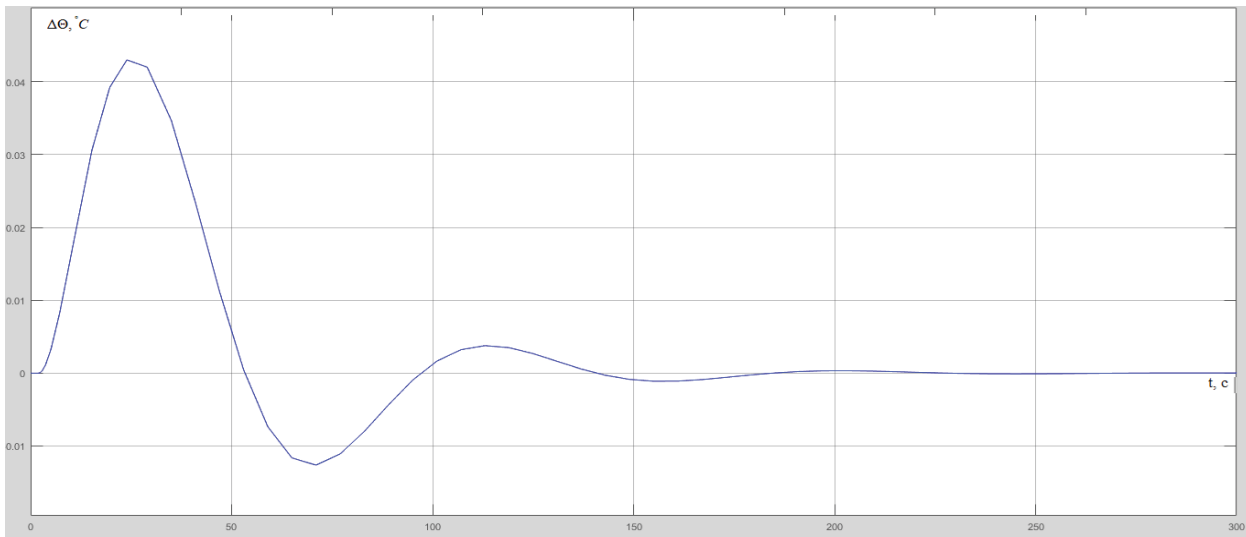


Рис. 7. Перехідний процес за каналом «витрати газу» – відхилення температури в плавильній зоні

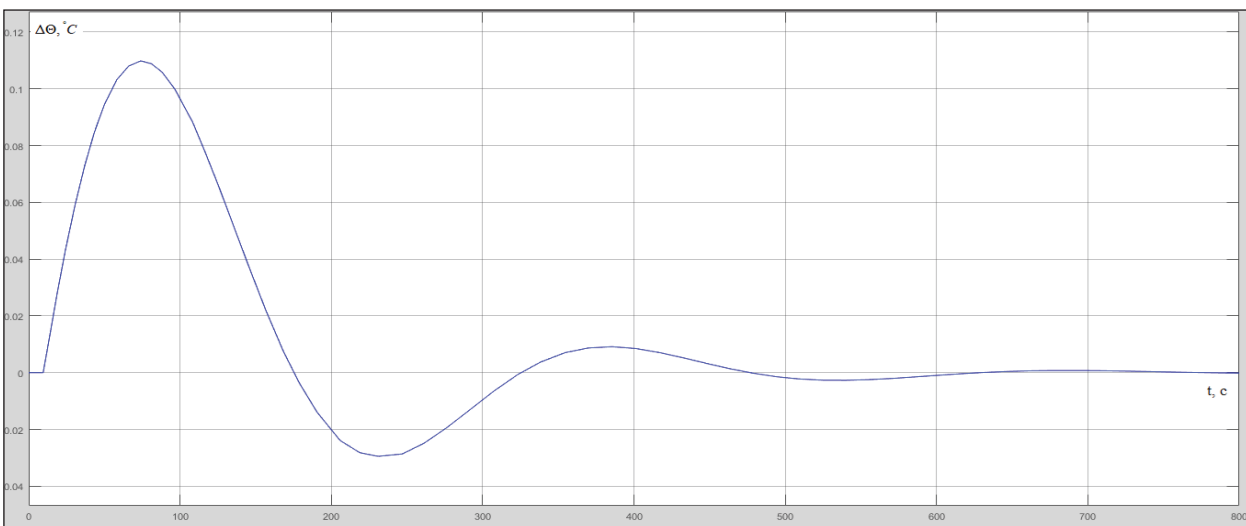


Рис. 8. Перехідний процес за каналом «витрати гранул» – відхилення температури в плавильній зоні

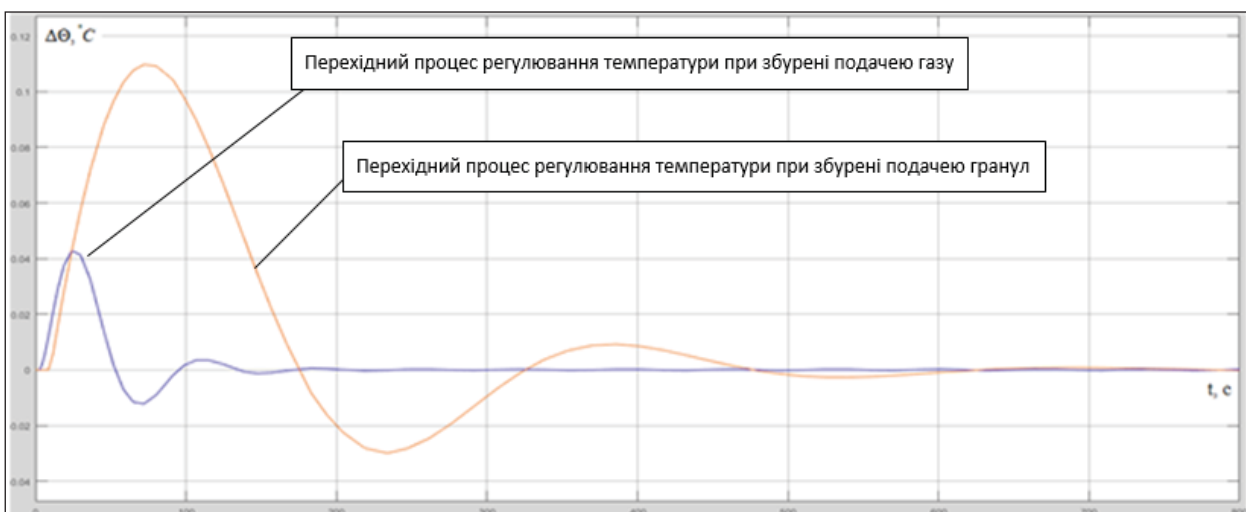


Рис. 9. Перехідні процеси за основними каналами регулювання температури в плавильній зоні обертової трубної печі

$$K_p = \frac{Y}{X} = \frac{(1300 - 50)}{(3580 - 580)} = 0.417 \frac{^\circ\text{C}}{\text{м}^3 / \text{год}}, \quad (3)$$

Процес подачі й горіння гранул відбувається не так швидко, постійна часу дорівнює $T = 40$ с. Витрата гранул вимірюється витратоміром на основі тензодатчика, інерційність цього каналу становить 10 с, плюс чисте запізнення – 4 с.

Передаточна функція по каналу гранул має такий вигляд:

$$W(s)_g = \frac{0.417}{40s + 1} \cdot e^{-14s}, \quad (4)$$

Для об'єкта управління синтезована система співвідношення «газ – гранули» в середовищі Simulink пакета MATLAB представлена на рис. 4.

Наступним етапом буде знаходження налаштувань регулятора за каналами газу й гранул методом Л. Кона [3].

Апроксимувавши криву розгону за каналами «газ – гранули» за методом Л. Кона, отримаємо оптимальні налаштування регуляторів [3]. Перехідні процеси представлені на рис. 7, 8, 9.

Висновки. Модернізовано схему автоматичного управління для процесу вироблення цементного клінкеру шляхом часткової заміни природного газу на тверде відновлюване паливо, отримане з побутових відходів. При цьому є можливість одержання значної економії у виготовленні цементного клінкеру достатньо високої якості. Для об'єкта управління синтезована система співвідношення «газ – гранули» в середовищі Simulink пакета MATLAB. Ця система може бути налагоджена традиційними методами. Одержані параметри налагодження можуть бути переведені у відповідні параметри для цифрових контролерів.

Список літератури:

1. Дуда В. Цемент. Электрооборудование, автоматизация, хранение, транспортирование / Сокр. пер. с англ. Р. Айтмуратова / под ред. Б. Юдовича, И. Прозорова. Москва, 1987. 464 с.
2. Болдырев, А., Хохлов В. Шляхи економії палива в цементній промисловості. Москва, 1983. 88 с.
3. Харабет О. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера: навч. посібник. Одеса: ОНПУ, 2014. 188 с.
4. EN 15359: 2011. Тверді відновлені види палива. Технічні характеристики та класи. Київ, 2016. 10 с. ГОСТ 33516-2015.
5. Fyffe J., Breckel A., Townsend A., and Webber M. Residue-Derived Solid Recovered Fuel for Use in Cement Kilns. Waste Management. 2015. 114 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВВЕДЕНИЕМ В ЦЕМЕНТНУЮ ПЕЧЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА, ПРОИЗВЕДЕННОГО ИЗ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ, КАК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ОДНОВРЕМЕННО

В статье рассмотрена возможность модернизации процесса выработки цементного клинкера путем частичной замены природного газа на твердое восстанавливаемое топливо, полученное из бытовых отходов. Синтезирована и исследована математическая модель системы автоматического регулирования соотношения «твердое топливо – газовое топливо».

Ключевые слова: производство цемента, вращающаяся печь, клинкер, твердое восстанавливаемое топливо, система автоматического регулирования.

INVESTIGATION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE INTRODUCTION TO CEMENT FURNACE OF ADDITIONAL FUEL PRODUCED FROM DOMESTIC WASTE, HOW ENERGY-EFFICIENT AND ENVIRONMENTAL RESOURCE SIMULTANEOUSLY

The article considers the possibility of modernizing the process of production of cement clinker by partial replacement of natural gas for solid renewable fuel, obtained from household waste. The mathematical model of the system of automatic regulation of ratio "solid fuel – gas fuel" is synthesized and investigated.

Key words: cement production, rotating furnace, clinker, solid regenerative fuel, automatic control system.