

ЖУЧЕНКО А. І., проф., д.т.н., СИТНИКОВ О. В., ст.викл.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМ РЕЖИМОМ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ ВАННОГО ТИПУ

*Розглянуто алгоритм побудови системи керування регенеративною скловарною піччю ванного типу на основі моделі складових об'єкту керування. Виконано дослідження створеної системи керування та спрощення для подальшого синтезу. За допомогою MathLab та Simulink. Отримані графіки перехідних процесів по вихідному параметру та параметри настройки регуляторів контурів. Поставлена задача на подальші дослідження.*

**Ключові слова:** скловарна піч, каскадна система, ПИД-регулятор.

© Жученко А. І., Ситніков О. В., 2018

**Постановка задачі та аналіз попередніх досліджень.** При створенні системи керування технологічним об'єктом, однією із основних проблем стоїть наявність адекватної моделі об'єкту керування. В роботах [1, 2] розглянуто етапи виведення математичної моделі скломаси, як об'єкту керування та перевірено її адекватність. Для даної моделі необхідна створити структуру системи керування, виходячи з особливостей процесу варки скла.

В роботі [3] приведено принцип створення блок-схеми керування тепловим режимом роботи регенеративною скловарною піччю ванного типу. Піч відноситься до об'єктів з розподіленими параметрами, інерційних, з самовирівнюванням, зі збуренням, що видає передбачений результат. На схемі представлено засіб здійснення переведення полум'я горілок, однак не приведено засобу керування співвідношення газ-повітря.

Скловарна піч, що буде розглядатися в даній роботі відноситься до регенеративних з поперечним поданням полум'я. Регенератор – камера, всередині якої знаходиться насадка та відбувається нагрів повітря відпрацьованими газами. Складається з ванни печі зі сводом, пар горілок розміщених по обох боках печі, регенераторів, системи завантаження, відпрацьованого каналу. Факел полум'я горілок має конусоподібну форму, розміщується над розплавом та перекриває весь простір між двома сусідніми парами. Відвід відпрацьованих димових газів відбувається по системі димоходів. Що знаходяться під варною зоною печі [4, 5]. На рис. 1 представлена структура печі.

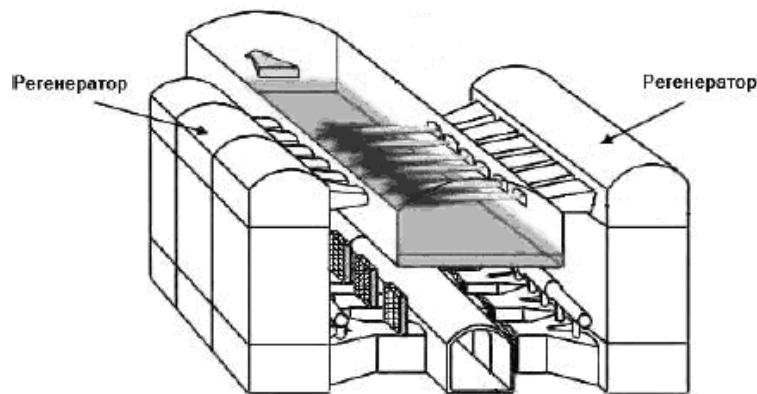


Рис. 1 – Регенеративна скловарна піч з поперечним поданням полум'я

Перевагою печі з поперечним поданням полум'я в тому, що для кожної пари горілок можна задати своє співвідношення газ-повітря, таким чином підтримувати необхідну температуру в кожній зоні ванни печі, регулювати швидкість та напрям конвективних потоків скломаси. В скловарній печі з підковоподібним поданням полум'я дві пари горілок розміщені в одному кінці печі, факел полум'я має U-подібну форму, таким чином кожна працююча горілка обігриває весь полум'яний простір. Склочаса в таких печах характеризується меншою ступеню гомогенізації [5, 7].

Система керування перемикає газові потоки в парах горілок таким чином, щоб одна працювала на горіння палива, а друга на нагрів насадки. Через фіксований проміжок часу відбувається перемикає газових потоків (реверс). Це дає можливість максимально знизити затрати пального [8]. На виробництві системами керування реалізовані у вигляді двоконтурних АСР з ПИД-регулятором. Основною задачею стоїть вдосконалення існуючої системи керування, що буде спрямована на підвищення якості виробничого процесу.

**Цілі статті.** Розглянути структуру системи керування виходячи із результатів попередніх досліджень та моделі об'єкту керування. Розробити засоби реалізації даної моделі в MathLab з отриманням результатів роботи.

### Виклад основного матеріалу.

Як зазначалось вище основною задачею системи керування є регулювання витрати газу, що забезпечить більш якісне (економне) використання пального. При вирішенні поставленої задачі в системі враховується керування температурою пального та витратою повітря (формування співвідношення газоповітряної суміші). Технологічні особливості АСП по пальному залежать від геометричних розмірів, конструкційних особливостей печі – способу подачі полум'я на горіння, кількості горілок та регенерації тепла [7, 9]. Системи розрізняються за типом регулювання: позиційне та по горілочне, а також за режимом переведу факела – по температурі, за показами термопар, по температурі регенератора та можливі варіанти за заданим часовим критерієм – не залежно від значення показів термопар відбувається перевід полум'я [10]. Автоматичний цикл переведу відбувається з можливістю програмування пауз для продувки окремо кожної зі сторін.

В сучасній технології керування процесом здійснюється за допомогою, з використанням, SCADA-систем[4], однак у свою чергу представляє лише матеріальний засіб для спрощення задачі керування. Для використання SCADA-системі необхідно мати структуру системи та алгоритм керування керування, у свою чергу задача розробки системи керування технологічним процесом не можлива без математичної моделі об'єкту керування [1, 2].

При створенні системи керування необхідно спиратись на існуючі систем керування, призначенні для підтримки заданих параметрів печі у встановленому режимі, автоматичного контролю технологічних параметрів. До складу входять три інформаційно-керувальні блоки – програмований мікроконтролер, панель оператора (контроль перебігу процесу), інформаційна система (контроль вимірювальних величин). Перший блок відноситься до нижнього рівня системи автоматики, другий і третій – до верхнього рівня. Програмований мікроконтролер – містить в собі ряд локальних регуляторів, зібрані в єдиному блоці, разом з піччю підключені по принципу двоконтурних АСП [11-13].

Більш раціонально використовувати каскадну систему керування піччю. Регулятори контуру стабілізації та контуру корекції реалізують ПІД-закон регулювання, об'єкт контуру стабілізації представляє собою горілку, а контуру корекції – скломасу.

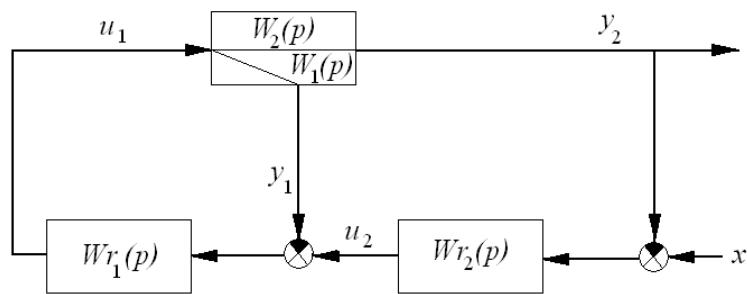


Рис. 2 – Структурна схема каскадної АСП скловарної печі

Виходом об'єкту  $W_2(p)$  виступає температура скломаси у відповідних зонах печі, а  $W_1(p)$  – температура газу, сигнал керування  $u_1$  представлений у вигляді контролю витрати пального, а  $u_2$  – регулювання подачі газу по кожній із горілок. Фактично регулятор стабілізуючого контуру  $W_{r1}(p)$  може реалізувати ПІ-закон, що значно спростить процес налаштування даного контуру [14].

Для відбору аналогових сигналів з термопар використовується промислова мережа, що дозволило скоротити витрати часу на монтаж кабельних мереж та власне продукцію. Це пов'язано з тим, що віддалені модулі встановлюються поблизу групи датчиків, а підключення до центрального щита управління здійснюється кабелем зі стандартним інтерфейсом і кабелем живлення. Параметри з промислової мережі передаються в цифровому вигляді, це виключає наведення перешкод на сигнали. В подальших роботах планується навести приклади заміни бездротовою системою передачі сигналу.

Подальшим кроком є перетворення каскадної АСП до еквівалентної на базі регулятора контуру корекції. Виходом системи є вихід об'єкту 2 – температура скломаси, а входом до системи керування ( $x$ ) – задані умови теплового режиму [14]. Спрощена система керування представлена на рис. 3.

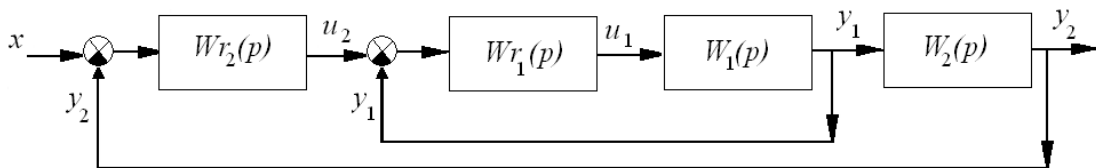


Рис. 3 – Спрощена структурна схема каскадної АСП скловарної печі

Спрощену структурну схему каскадної АСП реалізуємо в *MathLab* та *Simulink* [15], що дозволить синтезувати регулятори відповідних контурів. Внаслідок того, що модель ванни печі з розподіленими параметрами, для прикладу синтезу системи керування використаємо передатну функцію по конкретному

значенню координати  $x$  та передатну функцію горілки, що виведена згідно параметрів технологічного регламенту.

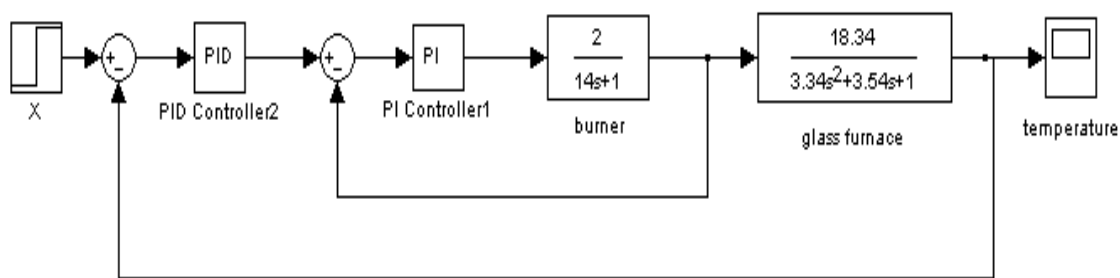


Рис. 4 – Реалізація каскадної АСР скловарної печі за допомогою *MathLab*

На схемі *PI* – регулятор контуру стабілізації ( $W_{r1}(p)$ ), а *PID* – регулятор контуру корекції ( $W_{r2}(p)$ ). Отримані значення параметрів настройки регуляторів відповідних контурів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати синтезу контурів каскадної системи керування роботою скловарної печі

Контур	$Kr$	$Ti$	$Td$
Стабілізації	1,457	4	-
Корекції	0,875	5	1,65

Отримано графік перехідного процесу, за допомогою блоку Scope середовища імітаційного моделювання *Simulink*, представлений на рисунку 5.

Виходячи з отриманих графічних даних, видно, що відбувається відхилення від заданого значення, в системі присутні коливання, які негативно впливають на якість вихідної продукції – неоднорідність скломаси, що в подальшому призводить до браку готової продукції. Для уникнення подібних ситуацій та повноцінного прогріву скломаси стоїть задача розробки адаптивної системи керування на базі нечіткої логіки.

Отримані результати синтезу системи, підходять тільки для конкретного значення коефіцієнтів об'єкту керування, в подальших дослідженнях необхідно врахувати всі варіанти коефіцієнтів передатної функції ванни печі та додати можливість співставлення перехідних процесів та параметрів настройки регулятора.

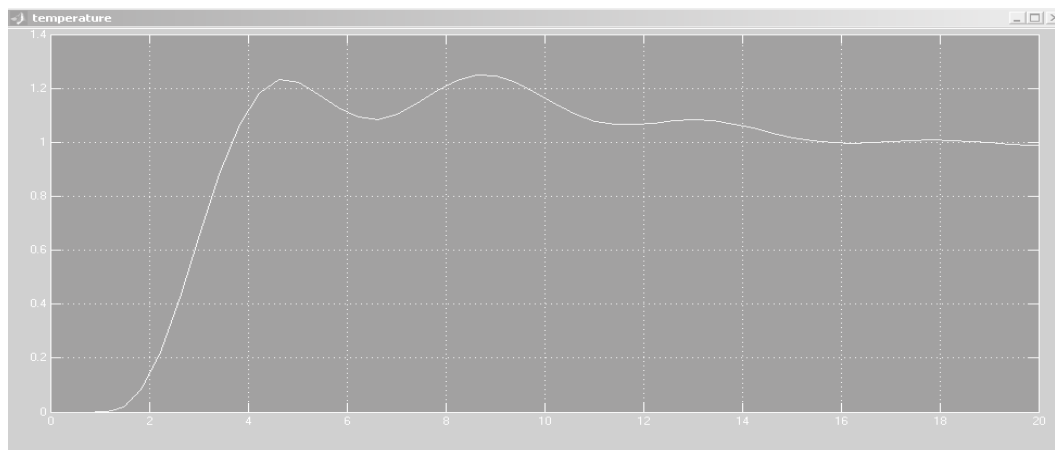


Рис. 5 – Перехідний процес АСР скловарної печі за калом керування

#### Список використаної літератури

1. Жученко А.І. Отримання передатних функцій елементів скловарної печі /А.І.Жученко, О.В. Ситніков // «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2011. – № 1(7). С. 101-105
2. Кубрак А.І., Вивід передатної функції ванни скловарної печі, як об'єкту керування /А.І.Кубрак, О.В. Ситніков // «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», 2012. – № 2(10). С. 131-136.
3. Чумак Л.И Автоматизированный контроль теплового режима стекловаренной печи./Л.И Чумак, А.А. Москалева // Вісник ПДАБА, №3- 2006-с.58-62
4. Зеленин С. Управление процессом варки стекла с использованием приложений Genesis32. / С.Зеленин, Н.Москалёв// «Системная интеграция/стекляная промышленность» – М., 2003. – №2 С. 20-25.
5. Зубанов В.А. Механическое оборудование стекольных и ситалловых заводов / В.А. Зубанов, Е.А. Чугунов, И.А. Юдин // «Машиностроение» – М., 1984.
6. Энергопотребление в стеклотарном производстве Великобритании (по материалам РОО «Эколайн») //

- Стеклоплавильная печь. 2006. – №2 (80).1. С 1-4.
7. Кошельник А.В. Методика оценки влияния регенеративного подогрева воздуха горения на работу ванной стекловаренной печи. /А.В. Кошельник, В.М. Кошельник, Е.Ю. Долженко// Труды ОПУ – Одесса, 2007. –№2(28). С. 1-6.
  8. Винтовкин А.А. Горелочные устройства промышленных печей и топок / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев //«Интермет Инжиниринг» – М., 1999. – С. 560.
  9. Хорошева Е.Р. Выбор критерия управления регенеративными печами в производстве листового стекла. /Е.Р. Хорошева //Международная научно-техническая конференция. Конверсия. Приборостроение. Рынок. -Тез.докл., Владимир. 1997. - С. 136.
  10. Шаеффер Н.А. Технология стекла./ Н.А. Шаеффер, К.Х. Хойзнер // «СТІ-Print», Кишинеv, 1998, 279 с.
  11. <http://www.steklogaz.ru/auto/dlya/>
  12. <http://donavtomatika.ru/glassmelter.shtml>
  13. Шелюбский В.И. Контроль однородности и постоянства состава стекла./В.И. Шелюбский// М.: Стройиздат, 1990. -198 с.
  14. Кубрак А.І. Замкнені та нелінійні системи/ А.І. Кубрак, О.А. Жученко, О.В. Ситніков – К.: Політехніка,2010. – 429 с.
  15. Гилат А. Теория и практика MathLab /А. Гилат// «ДМК Пресс», Москва ,2016, - 416с.  
Надійшла до редакції 11.06.2018