

УДК 681.515.8

ЖУЧЕНКО А. І., проф., д.т.н., СИТНІКОВ 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 спрошення для подальшого синтезу. За допомогою MathLab та Simulink. Отримані графіки переходних процесів по вихідному параметру та параметри настроїки регуляторів контурів. Поставлена задача на подальше дослідження.

Ключові слова: скловарна піч, каскадна система, ПІД-регулятор.

DOI: 10.20535/2306-1626.1.2018.143403

© 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 регенеративної скловарної печі ванного типу. Піч відноситься до об'єктів з розподіленими параметрами, інерційних, з самовирівнюванням, зі збуренням, що видає передбачений результат. На схемі представлено засіб здійснення переводу полуум'я горілок, однак не приведено засобу керування співвідношення газ-повітря.

Скловарна піч, що буде розглядатися в даній роботі відноситься до регенеративних з поперечним поданням полуум'я. Регенератор – камера, всередині якої знаходиться насадка та відбувається нагрів повітря відпрацьованими газами. Складається з ванні печі зі сводом, пар горілок розміщених по обох боках печі, регенераторів, системи завантаження, відпрацьованого каналу. Факел полуум'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 знаходиться під варною зоною печі [4, 5]. На рис. 1 представлена структура печі.

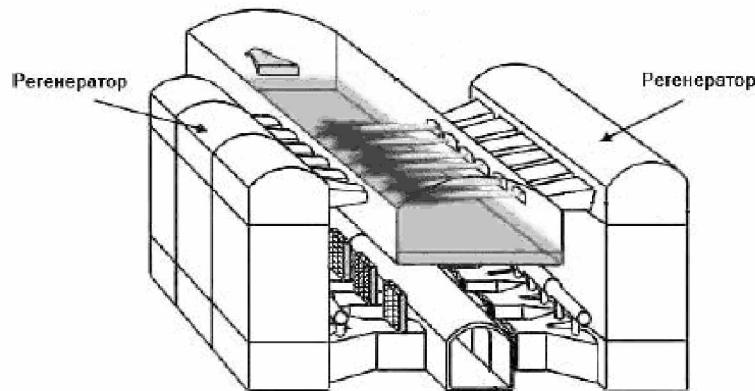


Рис. 1 – Регенеративна скловарна піч з поперечним поданням полуум'я

Перевагою печі з поперечним поданням полуум'я в тому, що для кожної пари горілок можна задати своє співвідношення газ-повітря, таким чином підтримувати необхідну температуру в кожній зоні ванні печі, регулювати швидкість та напрям конвективних потоків скломаси. В скловарній печі з підковоподібним поданням полуум'я дві пари горілок розміщені в одному кінці печі, факел полуум'я має U-подібну форму,

таким чином кожна працюча горілка обігріває весь полум'яний простір. Скломаса в таких печах характеризується меншою ступенем гомогенізації [5, 7].

Система керування перемікає газові потоки в парах горілок таким чином, щоб одна працювала на горіння палива, а друга на нагрів насадки. Через фіксований проміжок часу відбувається перемикання газових потоків (реверс). Це дає можливість максимально знизити затрати пального [8]. На виробництві системами керування реалізовані у вигляді двоконтурних АСР з ПД-регулятором. Основною задачею стоять 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 (економнє) використання пального. При вирішенні поставленої задачі в системі враховується керування температурою пального та витратою повітря (формування співвідношення газоповітряної суміші). Технологічні особливості АСР 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 переводу 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 системи керування, призначенні для підтримки заданих параметрів печі у встановленому режимі, автоматичного контролю технологічних параметрів. До складу входять три інформаційно-клерувальні 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 АСР [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.

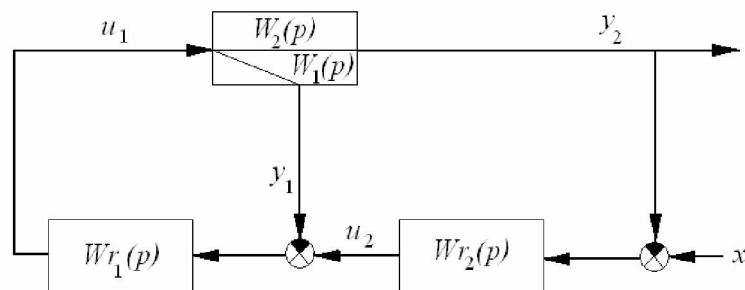


Рис. 2 – Структурна схема каскадної АСР скловарної печі

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 $W_{11}(p)$ може реалізувати ПІ-закон, що значно спростиць 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 АСР до еквівалентної на базі регулятора контуру корекції. Вихідом 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.

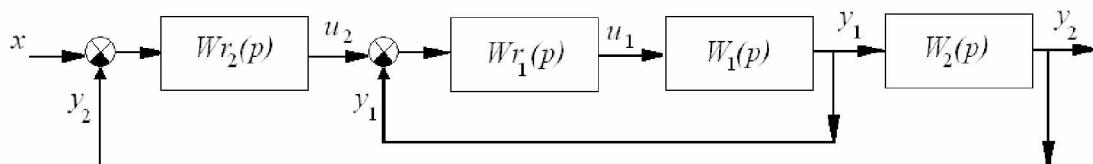


Рис. 3 – Спрощена структурна схема каскадної АСР скловарної печі

Спрощену структурну схему каскадної АСР 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.

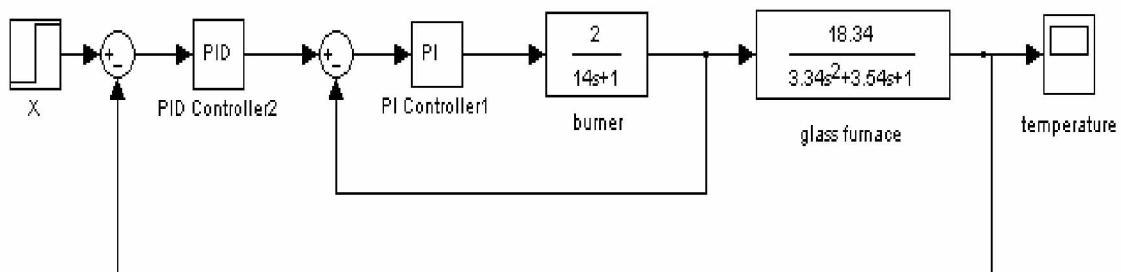


Рис. 4 – Реалізація каскадної АСР скловарної печі за допомогою *MathLab*

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	K_r	T_i	T_d
Стабілізації	1,457	4	-
Корекції	0,875	5	1,65

Отримано графік переходного 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 переходних процесів та параметрів настройки регулятора.

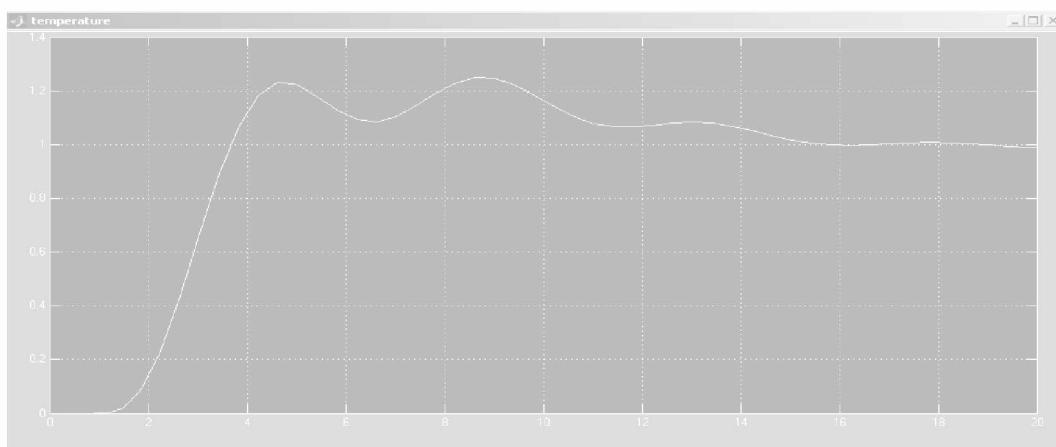


Рис. 5 – Переходний процес АСР скловарної печі за калом керування

Список використаної літератури

1. Жученко А.І. Отримання передатних функцій елементів скловарної печі /А.І.Жученко, О.В. Ситников // «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. Ситников // «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. Москалев // Вісник ПДАБА, №3- 2006-с.58-62
4. Зеленин С. Управление процессом варки стекла с использованием приложений Genesis32. / С.Зеленин, Н.Москалёв// «Системная интеграция/стекольная 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») // Стеклянная тара. 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 // «CTI-Print», Кишенев, 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. Ситников – К.: Політехника,2010. – 429 с.
15. Гилат А. Теория и практика MathLab /А. Гилат// «ДМК Пресс», Москва ,2016, - 416с.

Надійшла до редакції 11.06.2018

Zhuchenko A.I., Sytnikov A.V.

CONTROL SYSTEM FOR THE THERMAL REGIME OF A GLASS-FURNACE OF A BATH TYPE

The glass industry is a energy-intensive industry. Only a well-developed system for controlling the process of production of glass, will allow the most economical use of fuel and energy resources, with no variable quality of the original product. The main task of the control system is to support a given thermal regime in the furnace.

Before the development of the control system, an analysis of previous research in this direction was carried out, the task was to set the type and create a model of the control object. In a series of robots a model of a regenerative glass furnace with a transverse flame representation of a bath type has been developed, relates to objects with distributed parameters. The advantage of this furnace is the ability to ask for each pair of vodkas their own correlation of gas and air. Systems differ in type of regulation: positional and violet, and also according to the mode of transfer of the torch - temperature, thermocouple displays, regenerator temperature and possible variants according to the given time criterion - regardless of the value of the thermocouple displays, there is a flame transfer. Based on existing control system variants, the blocks contain a modern glass oven control system. According to the existing control systems, it has been established that a programmable microcontroller contains a number of regulators for implementing specific control and parameter control tasks.

The structure of the control system, the cascade ACP, was adopted, which represents the objects of the corresponding circuits, which laws implement regulators of the contour of correction and stabilization. On the basis of the correction circuit, the cascade system was simplified to a more comfortable type and simulated by Simulink in MathLab. The system was synthesized - the parameters of adjusting the regulators of the corresponding circuits were received and a graph of the transition process through the control channel was presented. Due to the fact that an object with distributed parameters, for the correction circuit, the transfer function of a specific layer of glass was taken.

Based on the behavior of the transition graph and the presence of the oscillation zone, further adaptation steps must be developed to avoid fluctuations in the transient process, which may affect the lack of finished products. Also, the task is to consider in a single control system several transfer functions corresponding to different layers of glass and to match in one coordinate system the graphs of the corresponding transients.

Keywords: Glass furnace, cascade system, PID controller

References

1. Zhuchenko A.I. Obtaining transfer functions of elements of a glass furnace / A.I. Zhuchenko, A.V. Sytnikov // "Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving", 2011. - No. 1 (7). Pp. 101-105
2. Kubrak A.I., Removal of the transfer function of a bath of a glass furnace, as an object of management / A.I.Kubrak, O.V. Sytnikov // "Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving", 2012. - No. 2 (10). Pp. 131-136.3. Chumak L.I. Automated control of the thermal regime of a glass melting furnace. / L.I. Chumak, A.A. Moskalev // News of PUBA, №3- 2006-p.58-62
4. Zelenin S. Controlling the process of cooking glass using Genesis32 applications. / S. Zelenin, N. Moskalev // "System Integration / Glass Industry" - M., 2003. - №2 C. 20-25.
5. Zubanov VA Mechanical equipment of glass and glass factories / B.A. Zubanov, E.A. Chugunov, I.A. Yudin // "Mechanical Engineering" - M., 1984.
6. Energy consumption in glass containers in the UK (based on the materials of the NGO Ecoline) // Glass containers. 2006. - №2 (80) .1. With 1-4.
7. Koshelnik A.V. Method for assessing the effect of regenerative heating of combustion air on the operation of a bathroom glass furnace. / A.V. Koshernik, V.M. Koshelnik, E.Yu. Dolzhenko // Proceedings of the OPU - Odessa, 2007.-№2 (28). Pp. 1-6.
8. AA Vintovkin. Burners for industrial furnaces and furnaces / A.A. Vintovkin, M.G. Ladigichev // "Intermet Engineering" - M., 1999. - P. 560.
9. Khorosheva E.R. Selection of the criterion for controlling regenerative ovens in the production of sheet glass. / E.R. Khorosheva // International Scientific and Technical Conference. Conversion. Instrument making. Market. -Te.d., Vladimir. 1997. - P. 136.
10. Schaefer N.A. Technology of glass. / NA. Schaeffer, K.H. Heisner // "STI-Print", Kishenev, 1998, 279 p.
11. <http://www.steklogaz.ru/auto/dlya/>
12. <http://donavtomatika.ru/glassmelter.shtml>
13. Shelyubsky VI Control of homogeneity and constancy of glass composition. / V.I. Shelyubsky // Moscow: Stroizdat, 1990. -198 p.
14. Kubrak A.I. Closed and nonlinear systems / AI Kubrak, A.A Zhuchenko, O.V. Sytnikov - K.: Politekhnika, 2010. - 429 s.
15. Gilat A. Theory and practice of MathLab / A. Gilat // DMK Press, Moscow, 2016, - 416 s.