

О. В. СИТНИКОВ

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

ORCID: 0000-0002-6806-1665

Б. І. ГРЕЧУК

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

ORCID: 0000-0002-4798-3863

СТВОРЕННЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ СХЕМИ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

У статті, створення структурно-параметричної схеми об'єкту керування, авторів Ситнікова О.В. та Грчука Б.І., наведено задача створення структурно-параметричної схеми, скловарної печі, як об'єкту керування в скловарному виробництві. Процес виготовлення скла являє собою дуже енергоємну галузь народного господарства. Ціни на природний газ, що виступає в ролі пального, зростають згідно тенденціям ринку та прогнозам експертів, таким чином необхідно максимально економічно використовувати пальне, при цьому не змінювати якість вихідного продукту. Підтримання значення вихідних параметрів процесу такими, що відповідають вимогам технологічного регламенту та економія паливно-енергетичних ресурсів завжди користується попитом. Створення системи керування тепловим режимом під час експлуатації скловарної печі, стає першочерговою задачею. Стадія скловаріння представляє собою найбільш відповідальну ланку в технологічній лінії виробництва скла внаслідок того, що від якості виробленої скломаси залежить якість отриманого кінцевого продукту. Неможливо ставити досліди процесу виробництва скломаси, зупиняючи або призупиняючи виробничий процес, таким чином актуальною є задача створення математичної моделі печі, яка буде враховувати всі технологічні особливості процесу виготовлення скломаси, вхідні та вихідні параметри та збурення. Врахування всіх вище зазначених параметрів та взаємодія між ними можливо при створенні структурно-параметричної схеми об'єкту керування. В дослідженнях, що наведені в роботі, є створення каналів керування, виявлення основних вхідних та вихідних параметрів. В результаті зі структурно-параметричної схеми визначено основний канал керування, а отримані результати будуть використані при розробці математичної моделі об'єкту керування, створенні та синтезі системи керування тепловим режимом скловарної печі.

Ключові слова: скловарна піч, параметрична схема, витрата, температура скломаси.

O. V. SYTNIKOV

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ORCID: 0000-0002-6806-1665

B. I. HRECHUK

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ORCID: 0000-0002-4798-3863

CREATION OF A STRUCTURAL AND PARAMETRIC SCHEME OF THE CONTROL OBJECT

In the article, creation of a structural and parametric scheme of the control object, authored by Sytnikov O.V. and Hrechuk B.I., the task of creating a structural-parametric diagram of a glass-making furnace as a control object in glass-making production is given. Purpose. The task of creating a mathematical model of the furnace, based on a structural parametric scheme, which will take into account all the technological features of the glass production process, input and output parameters and disturbances. Methodology. The process of making glass is a very energy-intensive industry of the national economy. Prices for natural gas, which acts as a fuel, increase according to market trends and expert forecasts, so it is necessary to use fuel as economically as possible, while not changing the quality of the original product. Maintaining the value of the initial parameters of the process in accordance with the requirements of the technological regulations and saving fuel and energy resources is always in demand. The creation of a system for controlling the thermal regime during the operation of the glass furnace becomes a primary task. Originality. The glass making stage is the most responsible link in the technological line of glass production due to the fact that the quality of the final product depends on the quality of the produced glass mass. It is impossible to experiment with the glass mass production process by stopping or suspending the production process. Taking into account all the above-mentioned parameters and the interaction between them is possible when the structural-parametric scheme of the control object is created. Results. In the studies presented in the work, there is the creation of control channels, the identification of the main input and output parameters. As a result, the main control channel is determined from the structural-parametric scheme. Practical value. The obtained results will be used in the development of a mathematical model of the control object, creation and synthesis of the control system for the thermal regime of the glass furnace.

Key words: glass furnace, parametric scheme, consumption, temperature of the glass mass.

Постановка проблеми

Економічний ефект виробництва значною мірою залежить від організації теплових режимів роботи скловарної печі. Процес варіння скломаси відбувається за високих температур, практично на рівні граничних, інтенсифікація варіння скла стає можливою при раціональному використанні теплової енергії у варильній зоні печі. Для визначення оптимального теплового режиму роботи печі необхідно дослідити теплофізичні характеристик роботи печі, що відповідають заданим умовам енергоефективності [1–3]. Створення системи керування, що підтримує заданий тепловий режим роботи печі, можливо на основі результатів математичного моделювання внутрішнього теплообміну. Однак, почати дослідження, необхідно із розроблення структурно-параметричної схеми регенеративної скловарної печі ванного типу з поперечним напрямом полум'я для врахування всіх входів, виходів та збурень [4–6].

Аналіз основних досліджень і публікацій

Аналіз скловарних печей, як об'єктів керування, розглянуто в роботах [2, 3, 5, 6], максимальна увага приділяється тепло-енергетичним процесам, що відбуваються в скломасі та газовому просторі. Запропоновано розглядати температуру скломаси, на виході з печі, як основний параметр керування [3]. Принципу керування температурою газового простору присвячена робота [5, 6].

Питання збурення та його вплив на якість вихідної продукції представлено в дослідженнях [3, 6].

Однак, в приведених дослідженнях відсутня узагальнююча структурно-параметрична схема, що врахує всі вхідні, вихідні величини та збурення.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи виступає створення та дослідження структурно-параметричної схеми скловарної печі та визначення основного каналу керування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Побудова структурно-параметричної схеми скловарної печі починається з виділення вхідних, вихідних параметрів та вказання збурення.

Вхідні параметри для об'єкту керування [2, 3, 7]:

- витрата палива (газу) ($F_{\text{газ}}$);
- витрата повітря на процес горіння ($F_{\text{пов}}$);
- витрата вихідних газів (нагрівання повітря) ($F_{\text{вих.газ}}$);
- витрата шихти ($F_{\text{ших}}$);
- витрата повітря на барботаж ($F_{\text{пов.барб}}$);

Вихідними регульованими параметрами для об'єкту керування [2, 3, 7–9]:

- рівень скломаси в печі ($L_{\text{ск}}$);
- тиск розрідження в печі ($P_{\text{роз}}$);
- температура скломаси на виході з апарату ($T_{\text{ск}}$);
- температура газоповітряної суміші в зоні освітлення ($T_{\text{газ-пов}}$);
- вміст кисню у вихідних газах печі (відроблених) ($Q_{\text{кис}}$).

В скловарній печі, мають місце збурюючі дії, що поділяються на дві групи в залежності від можливості керування [7–9]

Керовані:

- фізичні параметри газу на вході (тиск, температура, вологість) ($P_{\text{газ}}, T_{\text{газ}}, f_{\text{газ}}$);
- фізичні параметри повітря на вході (тиск, температура, вологість) ($P_{\text{пов}}, T_{\text{пов}}, f_{\text{пов}}$);

Некеровані:

- склад сировини (шихти) ($Q_{\text{ших}}$);
- швидкість завантаження шихти в ході процесу варки ($V_{\text{ск}}$);
- фізичні параметри навколишнього середовища (тиск, температура, вологість) ($P_{\text{н.с.}}, T_{\text{н.с.}}, f_{\text{н.с.}}$);

Таким чином структурно-параметрична схема об'єкту керування,

з врахуванням каналів зв'язку між параметрами, матиме наступний вигляд

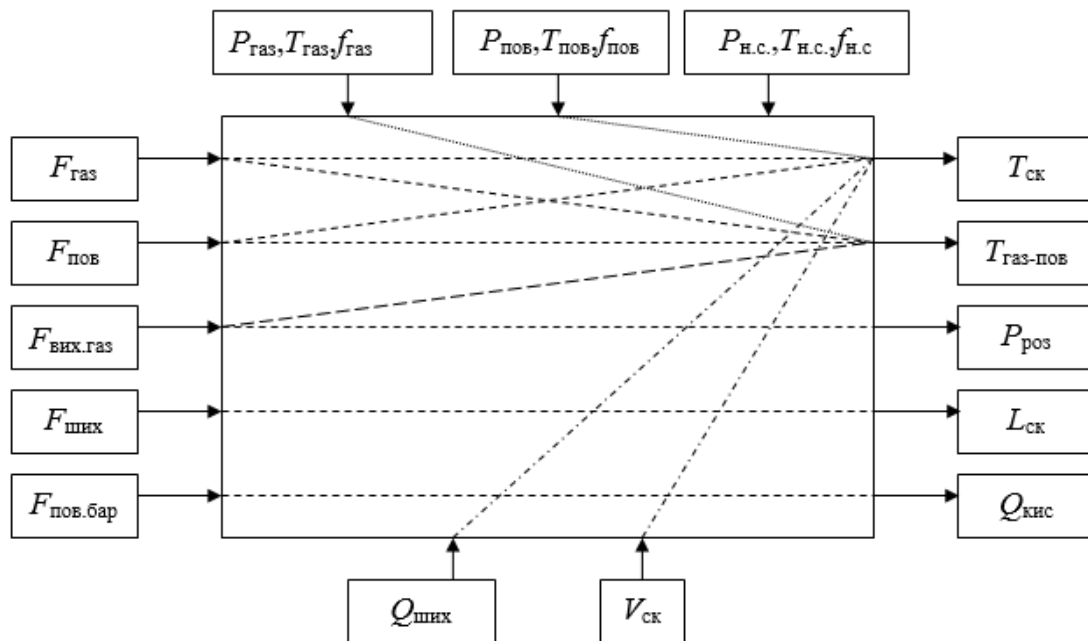


Рис. 1. Структурно-параметрична схема скловарної печі

Структурно-параметрична схема (рис.1) свідчить про те, що скловарна піч являє собою складний об'єкт, складається із основних та допоміжних ліній зв'язку. Виходячи зі схеми, вміст кисню у вихідних газах печі напряму залежить від витрати повітря на барботаж, рівень скломаси – від витрати шихти, розрідження – від витрати вихідних газів [5, 7, 9, 10], що подаються на нагрівання вхідного повітря. Регулюються одноконтурними системами керування [3, 11], в подальшому приймаються сталими та практично не впливають на якість вихідної якості скломаси. Фізичні параметри навколишнього середовища (тиск, температура, вологість – $P_{н.с.}, T_{н.с.}, f_{н.с.}$) не можуть чинити суттєвий вплив на перебіг процесу, внаслідок того, що діапазон зміни їх значень менше, ніж значення параметрів технологічного регламенту [2, 3]. Значеннями даних параметрів нехтують, структурно-параметрична схема, набуватиме вигляду

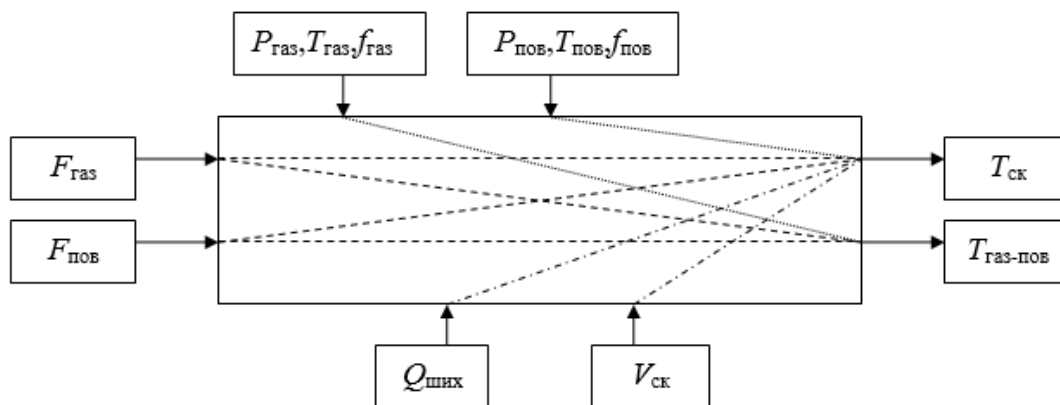


Рис. 2. Приведена структурно-параметрична схема скловарної печі

Одиним з найважливіших параметрів печі виступає температура в зоні освітлення газоповітряної суміші ($T_{газ-пов}$), внаслідок того, що напряму впливає на якість скломаси [2, 6]. Регулювання температури газо-повітряної суміші в зоні освітлення скловарної печі реалізовано одноконтурною замкненою системою керування з одним вхідним сигналом ($F_{пов}$), сигналом керування ($F_{газ}$) і керованим збуренням ($T_{пов}$). В свою чергу підігрівання повітря на вході здійснюється використанням вихідних (відроблених) газів [4]. Кероване збурення $T_{пов}$ можна розглядати в окремому контурі керування $F_{вих.газ}-T_{пов}$. Тиск газу та повітря впливає на надійну і безпечну роботу апарату, безпосередньо вплив на температуру скломаси не чинить, підтримано автономними системами контролю та настроєні на відповідне значення тиску [2, 12].

Основним вихідним параметром скловарної печі, як теплового об'єкту керування виступає температура скламаси ($T_{ск}$) в точках встановлення термопар, залежить від витрати газу ($F_{газ}$), витрати повітря ($F_{пов}$), температури газу на вході ($T_{газ}$), складу шихти ($Q_{ших}$), швидкості руху скламаси в ході процесу варки ($V_{ск}$). Приведена структурно-параметрична схема (рис.2), розкладається на дві підсхеми. В першій виходом буде виступати температура скламаси ($T_{ск}$), а в другій – температура в зоні освітлення газоповітряної суміші ($T_{газ-пов}$)

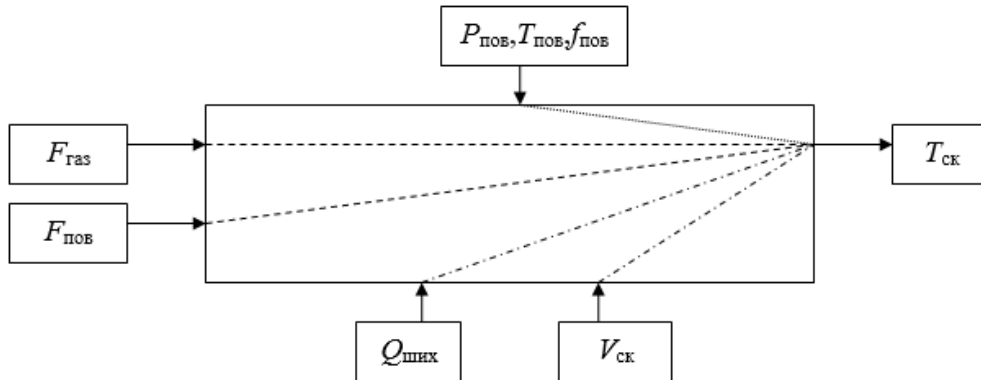


Рис. 3. Структурно-параметричної схеми скловарної печі з вихідним параметром «температура скламаси»

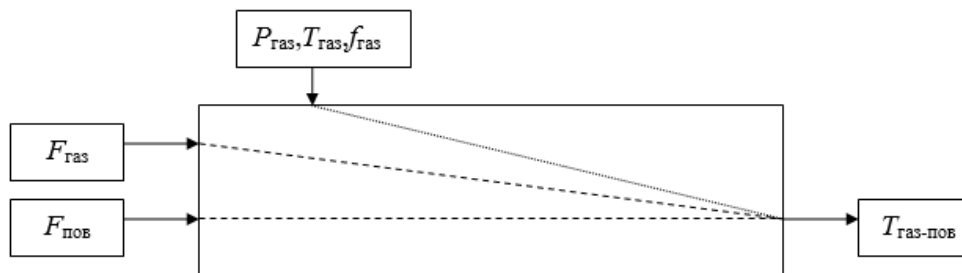


Рис. 4. Структурно-параметричної схеми скловарної печі з вихідним параметром «температура газоповітряної суміші в зоні освітлення»

Вхідні параметри однакові, а збурення різні (рис. 3 і 4). На значення $T_{газ-пов}$ суттєвий вплив має кероване збурення $T_{пов}$. Температура газоповітряної суміші впливає на температуру скламаси і система, в якій вихідним параметром є $T_{газ-пов}$, входить до складу системи керування подачі пального до пальників печі, як один з контурів. Відповідно вихідним параметром загальної системи виступає температура скламаси. Склад шихти ($Q_{ших}$) та швидкість руху завантаження ($V_{ск}$), являють собою некеровані збурення [7, 13] і основною задачею при синтезі системи керування є мінімізувати їх вплив на температурний режим скловарної печі, що у свою чергу впливає на якість вихідної продукції. Склад шихти визначається технологом виробництва, правильно підібрані складові (у відповідних пропорціях), виключає його як збурення. Перед представленням остаточного каналу керування постає задача по виявленню впливу швидкості руху скламаси. Налаштована система керування завантаженням шихти невілне вплив данної дії як збурення.

Параметр $f_{газ}$ та $P_{газ}$ (фізичні параметри газу на вході, тиск і вологість) впливають тільки на якість та безпечну роботу газових пальників [8]. Підтримувати усталений тепловий режим пальника, який не відповідає робочим нормам, не можливо, тому таку ситуацію можна віднести до аварійної, яка не відноситься до матеріалів даних досліджень. Виходячи з вище вказаного, основний канал керування буде представлений на наступній схемі.

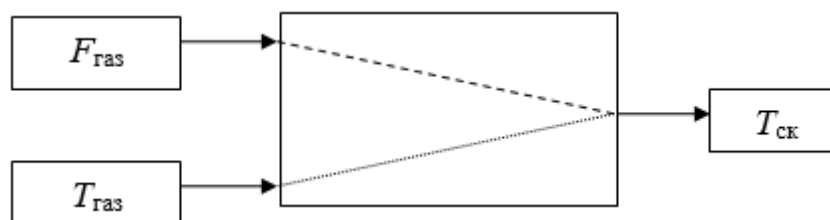


Рис. 5. Основний канал керування скловарної печі

Для оптимально теплового режиму роботи необхідно провести ряд дослідів, економічно недоцільно проводити досліди безпосередньо на об'єкті керування. Данна задача вирішується за допомогою математичного та імітаційного моделювання скловарної печі, що складається зі скломаси, кладки, газового простору [2, 5]. Кожній зі складових створюється окрема модель, загальна модель розробляється за модульним принципом та буде об'єднувати вище перераховані складові елементи. Всі розглянуті входи, виходи та збурення будуть використовуватися при моделюванні згідно розробленої структурно-параметричної схеми скловарної печі (рис. 2–4).

Висновки

В результаті проведених досліджень зі структурно-параметричною схемою скловарної печі було визначено основний канал керування: витрата газоповітряної суміші ($F_{\text{газ}}$) – температура скломаси ($T_{\text{ск}}$) та температура газу ($T_{\text{газ}}$). Результати будуть використані при розробленні математичної моделі об'єкту керування, створенні моделі нагрівання скломаси в скловарній печі, що буде побудована за модульним принципом, та синтезі адаптивної системи керування тепловим режимом скловарної печі.

Список використаної літератури

1. Левченко Б.А. Тепло- и массообменные аппараты и установки промышленных предприятий: Учебное пособие в 2-х томах (ч. 2) / Левченко Б.А., Братута Э.Г., Ефимов А.В., Кошельник В.М., Соловей В.В., Тарасенко Н.А., Филиппев О.В., Шевелев А.А. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 333 с.
2. Ящишин Й.М. Технологія скла. Фізика і хімія скла: Підручник для вищих навчальних закладів (ч. 1) / Ящишин Й.М. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2001. – 188 с.
3. Дзюзер В.Я. Проектирование энергоэффективных стекловаренных печей / Дзюзер В.Я. – Москва: «Теплотехника», 2009. – 339 с.
4. Кошельник В.М. Математическая модель регенератора стекловаренной печи с неподвижной огнеупорной насадкой. Труды международной науч.-техн. конференции „Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” / Кошельник В.М., Левченко Б.О., Кошельник А.В. – Х., 1997. – С. 108–111.
5. Захариков Н.А. Теплообменные процессы в стекловаренных печах / Захариков Н.А. – Киев: «Гостехиздат», 1962. – 246 с.
6. Гуляян Ю.А. Технология стеклотары и сортовой посуды / Гуляян Ю.А. – Москва: «Легпромбытиздат», 1986. – 262 с.
7. Волгина Ю.М. Теплотехническое оборудование стекловаренных заводов / Волгина Ю.М. – Москва: «Стройиздат», 1982. – 276 с.
8. Винтовкин А.А. Горелочные устройства промышленных печей и топок / Винтовкин А.А., Ладыгичев М.Г. – Москва: «Интермет Инжиниринг», 1999. – 560 с.
9. Кошельник А.В. Методика оценки влияния регенеративного подогрева воздуха горения на работу ванной стекловаренной печи. Труды ОПУ № 2(28) / Кошельник А.В., Долженко Е.Ю. – О., 2007. – С. 1-6.
10. Судзински Я.В. О разработке математических моделей течения стеклянной массы в ваннах стекловаренных печах (теоретический анализ и численные алгоритмы) / Судзински Я.В. – Москва: «Ступень», 1994. – 112 с.
11. Сорокина А.Е. Анализ возможностей управления процессом стекловарения. Автоматизация технологических процессов в производстве стекла. Сборник научных трудов. / Сорокина А.Е. – М., 1985. – С. 62-69.
12. Зубанов В.А. Механическое оборудование стекольных и ситалловых заводов. / Зубанов В.А., Чугунов Е.А., Юдин И.А. – Москва: «Машиностроение», 1975. – 408 с.
13. Роцин А.В. Оценка температурного поля стекломассы в условиях интенсивных помех. Автоматизированные системы управления в производстве строительного стекла. Сборник научных трудов / Роцин А.В., Уралов Д.Н. – М., 1982. С. 78–83.

References

1. Levchenko B.A., Bratuta E.G., Efimova A.B., Koshelnik V.M., Solovey V.V., Tarasenko N.A., Philipev A.V., Shevelev A.A. (2000) Heat-exchange and mass-exchange apparatuses and installations of industrial enterprises: Textbook in 2 volumes (p.2). Kharkiv: NTU «KPI».
2. Yaschishin I.M. Glass technology. Physics and chemistry of glass: Textbook for higher educational institutions (2001). Lviv: NU «Lviv Polytechnic».
3. Dzuzer V.Y. (2009) Design of energy efficient glass melting furnaces. Moscow: “Heatengineering”.
4. Koshelnik V.M., Levchenko B.A., Koshelnik A.V. (1997). Mathematical model of a glass melting furnace regenerator with a fixed refractory packing. *Proceedings of the international scientific and technical conference „Information technologies: science, engineering, technology, education, health”* Kharkiv. p.2. P. 108 –111.
5. Zakharicov N.A. (1962) Heat transfer processes in glass melting furnaces. Kyiv: “Gostekhizdat”
6. Gyloyan U.A. (1968) Technology of glass containers and high-quality tableware. Moscow: “Legprombytizdat”
7. Volgina U.M. (1982) Thermotechnical equipment of glassworks. Moscow: “Stroyizdat”

8. Vintovkin A.A., Ladigichev M.G. (1999) Burner devices for industrial furnaces. Moscow: "Internet Engineering"
9. Koshelnik V.M., Koshelnik A.V, Doljenko E.U. (2007) Methodology for assessing the effect of regenerative heating of combustion air on the operation of a glass melting tank. *Proceedings of the OPU*. Odessa. № 2(28). P. 1–6.
10. Sudzinckiy Y.O. (1994) On the development of mathematical models for the flow of glass mass in glass furnaces (theoretical analysis and numerical algorithms) Moscow: "Stupen".
11. Sorokina A.E. (1985) Analysis of the possibilities of glass-making process control. *Automation of technological processes in glass production. Collection of scientific papers*. Moscow. P. 62–69.
12. Zubanov V.A., Chugunov E.A., Ydin S.A. (1975) Mechanical equipment of glass and glass-ceramic plants. Moscow: "Mechanical engineering".
13. Roschin A.V., Uralov D.N. (1982) Estimation of the temperature field of glass melt under conditions of intense interference. *Automated control systems in the production of building glass. Collection of scientific papers*. Moscow. P. 78–83.