

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-12-88-1>

УДК 681.51

Максимов М.В., Гостіщев В.О.

Одеський національний політехнічний університет

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО НАГРІВНОГО КОЛОДЯЗЯ

Анотація. Проведена детальна робота по вивченню властивостей такого об'єкта як рекуперативний нагрівний колодязь. Були виявлені основні аспекти роботи даної установки та було чітко розібрано математичну модель, для якої також були знайдені налаштування для ПІ-регулятора. Дана робота була проведена так як сам об'єкт представляє собою складну систему яка потребує більш детального вивчення. Були вивчені загальні фізичні властивості які використовуються для роботи установки, а також проведена детальна робота по розробці математичної моделі та застосуванні її для знаходження оптимальних шляхів керування рекуперативним нагрівним колодязем. Представлена загальна модель яка допоможе зрозуміти, які керуючі впливи можливі на даній установці та як ці впливи не несли за собою подій, які б могли спричинити аварію. Детально досліджено математичну модель, а також проведена велика робота по деталізації даної моделі, включені всі можливі фактори. Всі можливі керуючі впливи та збурення відображені в даній роботі для більш детального вивчення об'єкта.

Ключові слова: рекуперативний колодязь, нагрівальний колодязь, математична модель, рекуператор, нагрівання.

Gostishchev Vladislav, Maksimov Maksym
Odessa National Polytechnic University

AUTOMATIC SYSTEM OF REGULATION OF A RECUPERATIVE HEATING WELL

Summary. Detailed work has been done to study the properties of such an object as a recuperative heating well. The main aspects of the operation of this installation were identified and the mathematical model was clearly analyzed, for which settings for the PI controller were also found. This work was carried out because the object itself is a complex system that requires more detailed study. The general physical properties used for the operation of the installation were studied, as well as detailed work on the development of a mathematical model and its application to find optimal ways to control a recuperative heating well. A general model is presented to help understand what control effects are possible on a given installation and how these effects did not lead to events that could cause an accident. The mathematical model is investigated in detail, and also the big work on detailing of this model is carried out, all possible factors are included. All possible control effects and perturbations are reflected in this paper for a more detailed study of the object. A more detailed study of both the object and the mathematical model will allow to reveal more the properties of the installation and will not miss a single detail that could interfere with the process of detailed analysis of the installation. This work is aimed at revealing the basic essence of the installation, its physical properties and properties as an object of control. Since the installation itself is generally a difficult system that requires detailed study. That is why the recuperative heating well was studied in detail and disassembled into the main parts, which were used to make a detailed mathematical model that includes all the necessary characteristics that will solve problems related to automatic control. An automatic control system was built, which would have the greatest impact on the perturbations that would come to the object. Thus, we have the following in general: we have a mathematical model that can be used for a more detailed study of the control properties of this installation. Also available is a researched certain control model which is used in this work and demonstrated.

Keywords: recuperative well, heating well, mathematical model, recuperator, heating.

Постановка проблеми. Проблема полягає у тому, що дана установка являє собою складну систему, яка потребує детального вивчення. І тільки таким чином, після того як рекуперативний нагрівний колодязь буде детально розібраний на деталі, вже можна описувати даний об'єкт у вигляді математичної моделі та втілення цієї моделі в програмне середовище. Це вже дозволить вивчити більш детально об'єкт. І саме тому, вся робота направлена на те, щоби після детального вивчення загальних властивостей, рекуперативний нагрівний колодязь був розглянутий як об'єкт керування. І так як було сказано, що рекуперативний нагрівний колодязь являє собою складний об'єкт, саме знаходження основних показників стабільності ке-

рування дасть нам основний результат який допоможе більше знати про дану установку як про об'єкт керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій показав, що сам об'єкт вже більш детально вивчений. Перш за все йдеться про фізичні процеси які проходять в рекуперативному нагрівному колодязі та про принцип роботи самої установки. Але з точки зору керування даним об'єктом, вдалось знайти не так багато інформації.

І більшість джерел вже застаріли, тому дані знання потребують оновлення. В загалом більшість джерел описує більш-менш детально саму установку, але з точки зору керування даним об'єктом представлено й не так багато літератури

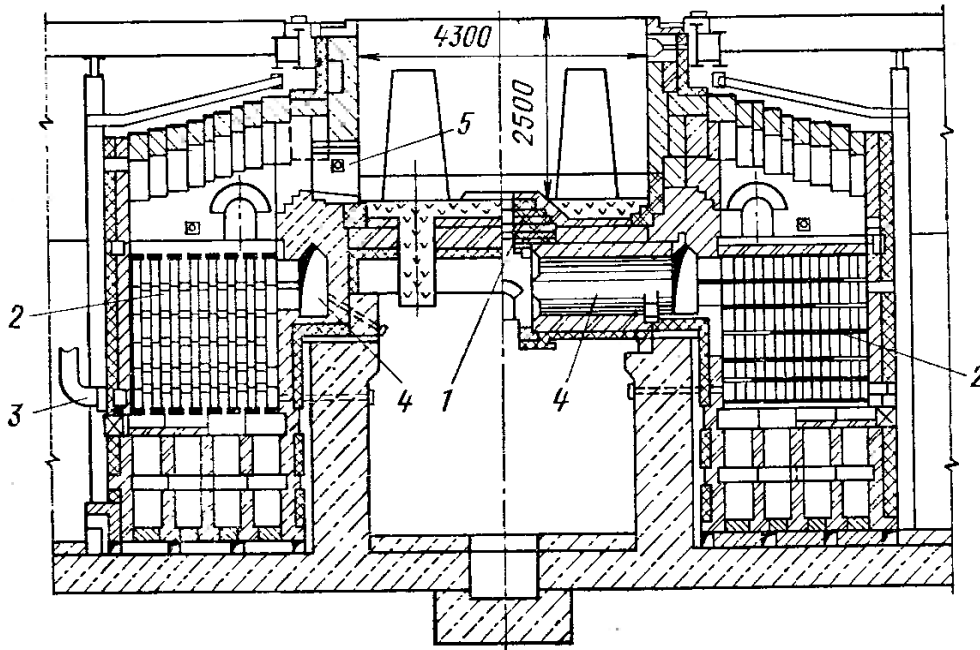


Рис. 1. Рекуперативний колодязь

1 – паливник; 2 – керамічний рекуператор; 3 – підведення холодного повітря; 4 – канал для підведення гарячого повітря; 5 – канали для відводу диму; 6 – зливки; 7 – шлакова чаша; 8 – димові канали для відведення "свого" диму; 9 – димові канали для відведення "транзитного" диму сусідньої комірки

Джерело: [1]

яка б допомогла зрозуміти всі аспекти в керуванні установкою. Були вивчені публікації наступних авторів: Сульников С., Зайченко С., Світличний О. та інших.

Формулювання цілей статті. Розробити автоматичну систему регулювання рекуперативного нагрівного колодязя.

Виклад основного матеріалу. Спершу треба пояснити, що являє собою рекуперативний нагрівний колодязь.

Зливки металу, отримані з виливниць, перед прокаткою їх на блюмінгу або слябінгу нагрівають у нагрівальних колодязях. Нагрівальні колодязі – це основний тип нагрівальних пристроїв, що встановлюються перед обтискними станами (блюмінгами і слябінгами), на яких зазвичай прокочують зливки вагою не менш 2-3 т і товщиною 350-400 мм і більше. Розповсюджені колодязі різних конструкцій, що працюють з регенеративним принципом підігріву газу та повітря або з рекуперативним принципом підігріву повітря.

Нагрівальні колодязі опалюють доменним (регенеративні) або змішаним (регенеративні, рекуперативні) газом, з теплотою згорання до

8,4-10,0 МДж/м³. Крім того, у суміші використовують і природний газ. Калорійність газу для рекуперативних колодязів вище, ніж для регенеративних. Змішаний газ для колодязів надходить зі спеціальних газозмішувачих станцій. Колодязі на деяких заводах опалюють мазутом.

На рис. 1 показана схема комірки рекуперативного колодязя з паливником в центрі поділи.

Основні вихідні величини, що характеризують тепловий режим роботи нагрівального колодязя: температура в робочому просторі колодязя, економічність спалювання палива, тиск в робочому просторі колодязя.

Основними вхідними, керуючими впливами при нагріванні є: зміна теплового навантаження (витрата палива) і співвідношення між витратами палива і повітря; зміна тяги димової труби (або димососа).

Тепер після того, як вже був описаний сам об'єкт, то перейдемо до розробки математичної моделі. В якості об'єкта управління розглядаються контури регулювання температури димових газів, економічності процесу горіння і розрідження в комірці рекуперативного нагрівного колодязя. Параметрична схема об'єкта наведена на рис. 2.

Основним збурюючим впливом є посад металевих злиwkів. Для підтримання температури всередині необхідно змінювати витрату палива Q_B . Для забезпечення заданої концентрації кисню в димових газах C_{O_2} підтримують необхідну витрату повітря, що йде на горіння Q_L .

Коливання витрат палива і повітря призводять до змін розрідження в топці P_T . Заданий розрідження підтримують з допомогою зміни витрати димових газів $Q_{дг}$.

Математична модель об'єкта розглядається окремо для кожного регульованого параметра.

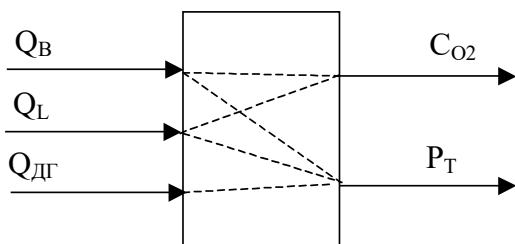


Рис. 2. Параметрична схема об'єкта управління

Джерело: розробка автора

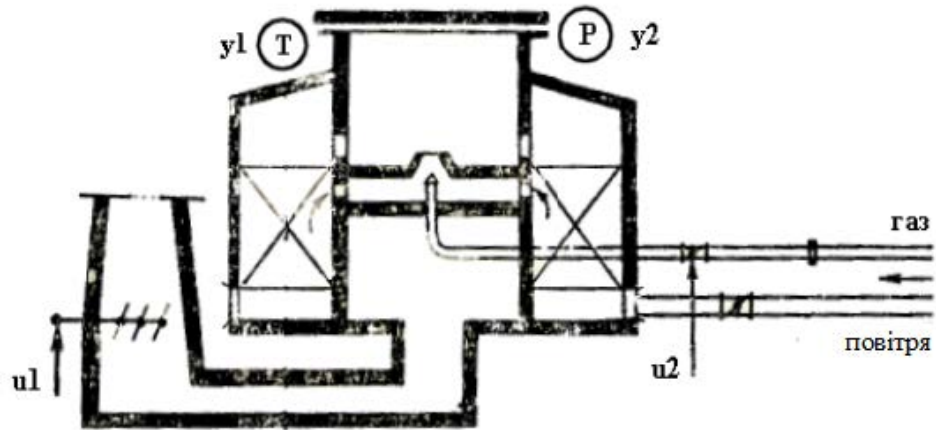


Рис. 3. Принципова схема рекуперативного коледзя

Джерело: розробка автора

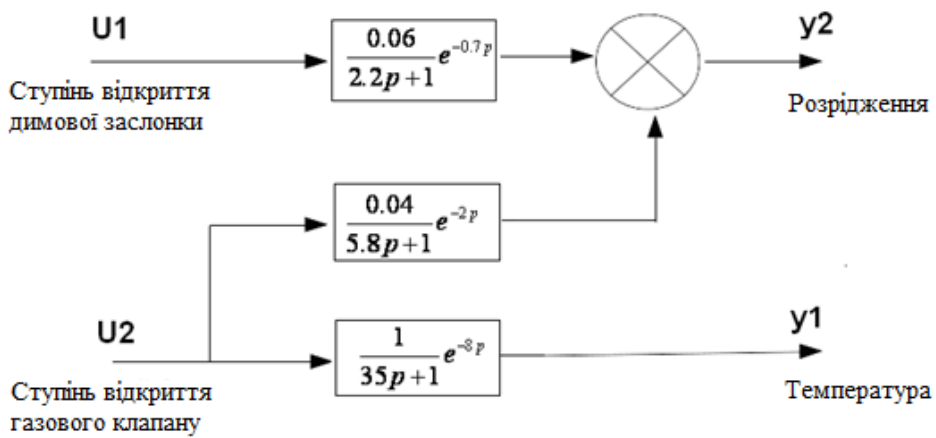


Рис. 4. Структурна схема моделі рекуперативного коледзя

Джерело: [1]

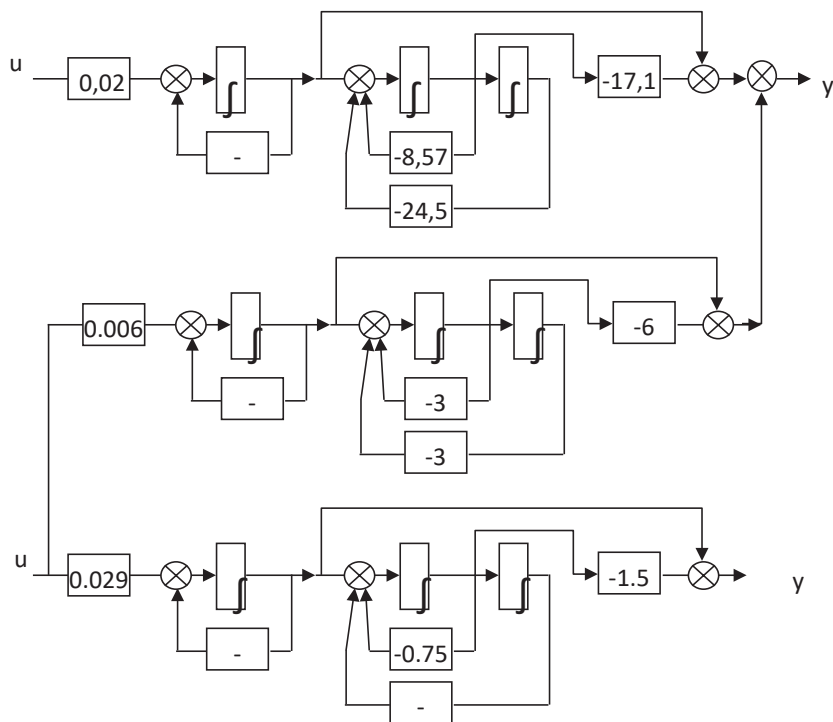


Рис. 5. Структурна схема моделі об'єкта автоматизації

Джерело: [3]

Математична модель у вигляді матриці передаточних функцій представлена в таблиці 1.

Таблиця 1
Матриця передаточних функцій об'єкта

	$u_1, \%$	$u_2, \% \text{ газ}$
y_1 1050 \pm 20 °C	-----	$\frac{1}{35p+1} e^{-8p}$
y_2 , 5 \pm 0.5 мм Н ₂ O	$\frac{0.06}{2.2p+1} e^{-0.7p}$	$\frac{0.04}{5.8p+1} e^{-2p}$

Джерело: [2]

В таблиці 1, y_1, y_2 – керуючі змінні (виміри), u_1, u_2 – керуючі впливи, час в секундах.

На рисунку 4 наведена структурна схема моделі рекуперативного колодязя.

Об'єкт, який автоматизується, являється складною динамічною системою, що має дві величини, що регулюються, й два впливи керування.

Загальною особливістю всіх розглянутих каналів являється наявність часу запізнення τ .

В загальному вигляді динамічні властивості об'єкта описані передатною функцією інерційної ланки 1-го порядку з запізненням:

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1} \cdot e^{-\tau p}$$

В результаті ми отримуємо сукупність підсистем, що мають тільки один вхід і один вихід. Для об'єднання отриманих підсистем в одну загальну систему можна використати блок-схему, замінив передатні функції структурними схемами в вигляді змінних стану. Розвернута схема системи з урахуванням запізнення представлена на рисунку 5.

Отримавши математичну модель і дослідивши, які вхідні параметри ми контролюємо, можна перейти до моделювання самих процесів на даній установці, які в майбутньому допоможуть знайти необхідні параметри для регуляторів.

В результаті вийшли наступні розгінні характеристики які зображені на рис. 6, рис. 7, рис. 8.

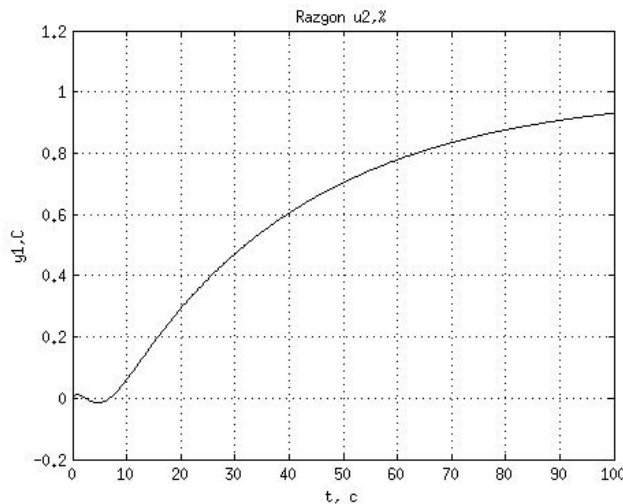


Рис. 6. Розгінні характеристики системи при збуренні витратою газу

Джерело: розробка автора

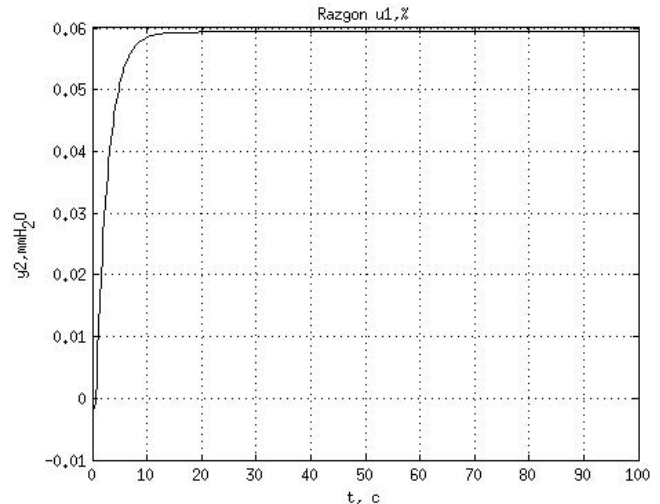


Рис. 7. Розгінні характеристики системи при збуренні витратою димових газів

Джерело: розробка автора

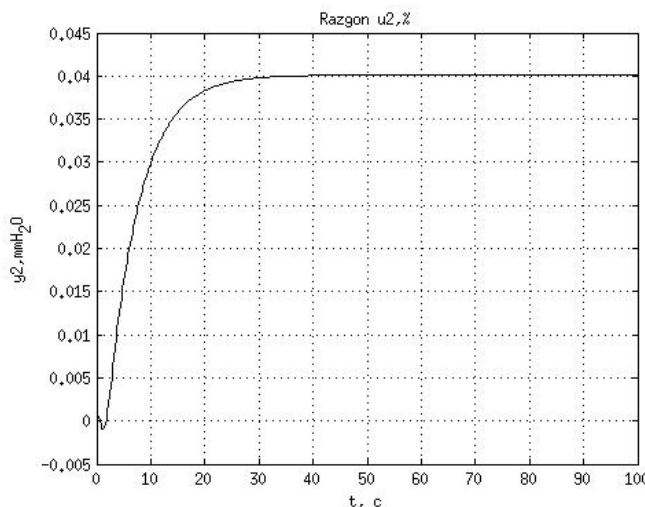


Рис. 8. Розгінні характеристики системи при збуренні витратою димових газів

Джерело: розробка автора

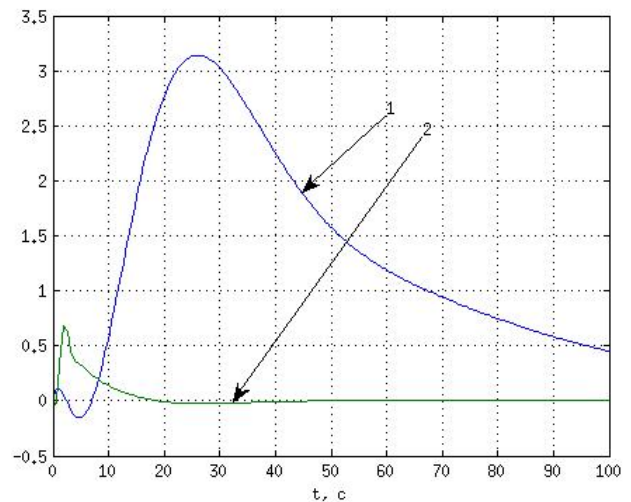


Рис. 9. Перехідні процеси замкнутої системи:
1 — відхилення температури, С;
2 — відхилення тиску

Джерело: розробка автора

Проаналізував перехідні процеси можна зробити висновок, що значення регулюємих параметрів не перебільшують допустимих. Перетворення моделі регулятора у форму, що відповідає її реалізації у програмному забезпеченні.

В результаті виконання програмного коду будуть отримані перехідні процеси зміни при збуреннях, які поступають на кожен із каналів регулювання та перехідні процеси на виході системи.

Висновки та пропозиції. В даному матеріалі був розглянутий такий об'єкт як рекуперативний нагрівний колодязь. Так як дана установка являє собою складний об'єкт, тому були повністю

розглянуті властивості даної установки та відображення даних властивостей в математичній моделі. Дана математична модель повністю описує необхідні параметри об'єкта які і були відображені в даній роботі. І також завдяки розробленій математичній моделі та за допомогою програмного забезпечення, були знайдені необхідні параметри для регулятора рекуперативного нагрівного колодязя. Була розглянута більш нова модель даної установки, яка дозволить в майбутньому більш краще її вивчати та знаходити нові методи в плані керування даним об'єктом.

Список літератури:

1. Кривандин В.А., Филимонов Ю.П. Теория конструкции и расчеты металлургических печей. Том 1. 2-е издание. 1986. 320 с.
2. Бойко В.И., Смоляк В.А. Автоматизированные системы управления технологическим процессами в черной металлургии : Учебное пособие для студентов вузов по специальностям «Электронные системы» и «Автоматизация технологических процессов и производств». Днепропетровск, 1997. 260 с.
3. Плетнев Г.П., Зайченко Ю.П., Зверев Е.А., Киселев Ю.Е. Проектирование, монтаж и эксплуатация автоматизированных систем управления теплоэнергетическими процессами. Москва : Издательство МЭИ, 1995. 316 с.

References:

1. Krivandin V.A., Filimonov Y.P. (1986). Teoriya konstrukcii i raschety metallurgicheskikh pechej [Design theory and calculations for metallurgical furnaces]. Tom 1, 2-e izdanie. (in Russian)
2. Bojko V.I., Smolyak V.A. (1997). Avtomatizirovannye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi processami v chernoj metallurgii [Automated control systems for technological processes in ferrous metallurgy]: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov po special'nostyam "Elektronnye sistemy" i "Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov i proizvodstv". Dniprodzerzhinsk. (in Russian)
3. Pletnev G.P., Zajchenko Yu.P., Zverev E.A., Kiselev Y.E. (1995). Proektirovanie, montazh i ekspluataciya avtomatizirovannyh sistem upravleniya teploenergeticheskimi processami [Design, installation and operation of automated control systems for heat and power processes]. Moscow: Publishing house MEI. (in Russian)