

УДК 519.876.5

MODELING OF THE AUTOMATIC TEMPERATURE REGULATION SYSTEM IN THE FIRING ZONE OF A TUNNEL FURNACE

МОДЕЛЮВАННЯ САР ТЕМПЕРАТУРИ У ЗОНІ ВИПАЛУ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

Zaitsev E. / Зайцев Е.О.
master / магістр

Titova O. / Тітова О.В.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.
ORCID: 0009-0004-7474-2506

Chorna O. / Чорна О.С.
senior lecturer / старший викладач
ORCID: 0000-0002-5812-7413

Kravets O. / Кравець О.В.
postgraduate / аспірант
ORCID: 0000-0002-3079-7562

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Lazariana, 2, 49010
Український державний університет науки і технологій,
Дніпро, Лазаряна, 2, 49010

Анотація. Розглянуто задачу моделювання системи автоматичного регулювання температури у зоні випалу тунельної печі як актуальну проблему підвищення ефективності автоматизованих систем управління технологічними процесами. Визначено передаточну функцію об'єкта з урахуванням запізнювання та розраховано оптимальні налаштування ПІД-регулятора. Проведено аналіз перехідного процесу, за результатами якого підтверджено стійкість системи та відповідність показників якості регулювання заданим вимогам.

Ключові слова: системи автоматичного регулювання, тунельна піч, моделювання, ПІД-регулятор.

Abstract. The problem of modeling the automatic temperature control system in the firing zone of a tunnel kiln is considered as a topical problem of increasing the efficiency of automated process control systems. The transfer function of the object is determined taking into account the delay and the optimal settings of the PID controller are calculated. The transient process is analyzed, the results of which confirm the stability of the system and the compliance of the control quality indicators with the specified requirements.

Key words: automatic control systems, tunnel kiln, simulation, PID controller.

Підвищення ефективності АСУТП є одним із фундаментальних завдань теорії управління. На даний момент питання розробки системи автоматичного регулювання температури у зоні випалу тунельної печі вивчено недостатньо, тому це є актуальною та перспективною задачею. Також це є актуальною проблемою у багатьох галузях промисловості для оптимізації процесів, підвищення продуктивності, якості та безпеки, мінімізації витрат.

Моделювання системи автоматичного регулювання (САР) цього процесу дозволяє оптимізувати технологічні параметри, зменшити енергоспоживання та підвищити ефективність виробництва. Важливе значення у цьому напрямі відіграє вдосконалення регулювання шляхом визначення оптимальних налаштувань регулятора.

Метою цього дослідження було моделювання системи автоматичного регулювання (САР) температури у зоні випалу тунельної печі. Регульований об'єкт являє собою тунельну піч. Регульованою величиною (вихідною) є температура у зоні випалу печі. Регулювання температури відбувається шляхом зміни витрати газу, що подається у зону випалу.

В даній роботі розроблена САР температури у зоні випалу тунельної печі має структуру, яка реалізує принцип управління за відхиленням. Дана система є замкнутою. Для розглянутого об'єкта побудована динамічна характеристика (крива розгону). Виконана обробка кривої розгону за допомогою графоаналітичного методу (метод дотичної). Аналіз динамічних властивостей показав, що динамічні дані (час запізнювання та постійна часу) цілком достатні для систем автоматичного регулювання. Отримані дані про статичні і динамічні властивості апаратури дозволяють відтворити правильний вибір, розрахунок і проектування системи автоматичного регулювання. В результаті моделювання отримані диференціальне рівняння та передаточна функція об'єкта, з урахуванням запізнювання, розраховані оптимальні настройки ПІД-регулятора, при яких буде забезпечена стійкість перехідного процесу, з мінімальним значенням динамічного відхилення та часом регулювання при 20 % перерегулюванні: $K_{II} = 1.3$; $T_i = 5$ (с), $T_d = 1.5$. Побудовано перехідний процес та оцінена його якість: динамічне відхилення $V_{дин} = 0,057$, перерегулювання $\Pi = 20$ %, час регулювання, $t_p = 69$ (с).

Результат моделювання САР температури у зоні випалу тунельної печі та аналіз отриманого перехідного процесу показав, що розраховані настройки ПІД-регулятора забезпечують стійкість САР, та задовольняють вимогам до якості регулювання.

Література:

1. Манко, Г. І. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління: навчальний посібник [Текст] / Г. І. Манко, О. В. Лещенко. – Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 228 с.
2. Ладанюк А. П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навч. посіб. / А. П. Ладанюк, К. С. Архангельська, Л. О. Власенко — К.: НУХТ, 2014. — 274 с.
3. Дубовой В.М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування: навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
4. Інформаційна невизначеність каліброваних засобів вимірювань / Манко Г.І., Тітова О.В. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2021. – № 5 (269). – С. 38-41
5. Information Approach to Assessing the Quality of Measuring Instruments / G. Manko, E. Titova // Ukrainian Metrological Journal. – 2021 – № 4. – С. 15-19
6. Аналіз предметної області для програмної системи математичного моделювання тунельної печі з метою зменшення витрати природнього газу та покращення якості продукції, що випалюється / Піпко О. В., Гетьман І. А., Держевецька М. А. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2023. – № 4 (87). – С. 110-116
7. АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТУНЕЛЬНИМИ ПЕЧАМИ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ / Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Трунов В. Ю. // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2024. – № 49.2. – С. 55-64

Тези надіслано: 28.12.2025 р.

© Зайцев Е.О., Тітова О.В., Чорна О.С., Кравець О.В.

УДК 681.5.015

INTEGRATION OF INDIRECT MEASUREMENTS AND MODELING FOR DETERMINING THE DESCENT VELOCITY OF BULK MATERIALS IN INDUSTRIAL OBJECTS

ІНТЕГРАЦІЯ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ І МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
ШВИДКОСТІ СХОДУ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Tarasevich I.G. / Тарасевич І.Г.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-3249-619X

Selegei A.M. / Селегей А.М.

d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-3161-5270

Ukrainian State University of Science and Technologies,

Dnipro, Science avenue, 4, 49600

Український державний університет науки і технологій,

Дніпро, пр. Науки, 4, 49600

Анотація. *Визначення швидкості сходу (опускання) сипучих матеріалів у накопичувальних ємностях, бункерах і печах шахтного типу є однією з ключових задач сучасних систем керування матеріальними потоками в металургії, хімічній промисловості, енергетиці та будівельній індустрії. Нерівномірність руху матеріалу, утворення зон застою та каналізації потоку зумовлюють значні похибки оцінювання фактичних запасів сировини, що ускладнює оперативне управління виробничими процесами.*

Особливої актуальності ця задача набуває для печей шахтного типу, де швидкість опускання матеріалу безпосередньо впливає на тепловий режим, перебіг фізико-хімічних процесів і якість кінцевого продукту. Відсутність достовірної інформації про динаміку руху сипучих матеріалів обмежує можливості реалізації замкнених систем автоматизованого керування запасами та витратами.

У сучасних умовах ефективно розв'язання цієї задачі потребує поєднання методів непрямого вимірювання, математичного та чисельного моделювання й алгоритмів обробки даних у реальному часі. Реалізація таких підходів створює передумови для підвищення точності обліку матеріалів, стабілізації технологічних процесів і побудови ефективних автоматичних систем керування матеріальними потоками.

Ключові слова: *сипучі матеріали, швидкість сходу (опускання), накопичувальні ємності, шахтні печі, матеріальні потоки, автоматизовані системи керування, облік запасів, DEM-моделі, радіолокаційні рівнеміри, адаптивні системи*

Abstract. *Determining the descent (discharge) velocity of bulk materials in storage vessels, bunkers, and shaft-type furnaces is one of the key challenges of modern material flow control systems in metallurgy, the chemical industry, energy production, and construction. Non-uniform material movement, the formation of stagnant zones, and flow channeling lead to significant errors in estimating actual material inventories, thereby complicating operational process control.*

This problem is particularly critical for shaft-type furnaces, where the material descent velocity directly affects the thermal regime, the course of physicochemical processes, and the quality of the final product. The lack of reliable information on the dynamics of bulk material motion limits the implementation of closed-loop automated systems for inventory and flow-rate control.

Under modern industrial conditions, effective solution of this problem requires the integration