

**Єфремов О. С.** студент гр. 151м-20

**Науковий керівник: Ткачов В. В.,** д.т.н., професор кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірjувальних систем

*(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)*

## **СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАГРІВОМ ЗЛИТКІВ В НАГРІВАЛЬНИХ КОЛОДЯЗЯХ ОБТИСКНОГО ЦЕХУ**

**Актуальність.** Сьогодні металургія є одною зі стратегічних галузей у світовій економіці. Наявність цієї галузі в економіці країни є показником розвиненості її промислового потенціалу, та конкурентоздатності за іншими світовими галузями, по відношенню до яких металургія є базовою. Однак, в умовах жорсткої ринкової конкуренції в металургійній галузі повинна постійно розвиватися технологія процесу з метою підвищення якості товару, та зменшення його собівартості.

В Україні металургія є одною з ключових галузей, забезпечуючи до 16% загального обсягу реалізованої промислової продукції, п'яту частину товарного експорту й більше 10 млрд дол. експортної виручки, понад 200 тис. робочих місць і приблизно 10% у загальній середньообліковій кількості штатних працівників у промисловості [1]. У свою чергу, виробництво листа гарячекатаного є досить поширеним у металургійній галузі – його виробляють ВАТ «Запоріжсталь», Маріупольський ММК ім. Ілліча, «Азовсталь» і Алчевський МОЗ. Тож, вдосконалення технології виробництва листа гарячекатаного за рахунок впровадження інноваційних алгоритмів автоматичного керування виробничими процесами є актуальним завданням, а дослідження цих алгоритмів з метою підвищення їх ефективності – актуальним науковим питанням.

**Постановка завдання дослідження.** В останні роки для економії енергоресурсів при виробництві гарячекатаного листа почала застосовуватися технологія так званої транзитної прокатки, при якій сляби відразу ж після порізки передаються в прокатку на листовій стан без підігріву методичних печач [2]. Впровадження транзитної прокатки дозволило скоротити питомі витрати палива на 15-20%. Однак, при реалізації такої технології зросли вимоги до процесу автоматичного керування нагріванням злитків в нагрівальних колодязях обтискного цеху. Через те, що темп і порядок видачі злитків з колодязів при такій технології задається операторами листового стану, завданням керування нагріванням злитків наразі є не просто нагріти метал до потрібної тепломісткості, а й зробити це за певний заданий оператором час.

Таким чином, регулятор температури в нагрівальному колодязі повинен бути адаптивним – на основі ідентифікованих динамічних властивостей об'єкта керування він повинен виробляти такий керуючий сигнал, який забезпечує монотонне у часі нагрівання злитків до заданої температури за заданий інтервал часу. При цьому заданий інтервал часу може змінюватися в процесі нагрівання злитків, відповідно алгоритм управління також повинен підлаштовуватися під змінений інтервал часу нагріву злитків до заданої температури.

**Інструмент дослідження.** Для дослідження алгоритмів автоматичного керування температурою у нагрівальних колодязях у додатку Simulink математичного пакету MATLAB створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою у колодязі. При цьому модель об'єкта керування отримана у ході процедури ідентифікації динамічних властивостей об'єкта керування на основі експериментальної кривої розгону.

**Запропоноване рішення поставленого завдання.** В запропонованому адаптивному регуляторі температури в нагрівальному колодязі спочатку визначаються динамічні властивості об'єкта керування. Таким чином, його робота умовно розділяється на два етапи: ідентифікація (подача ступеневого сигналу для зміни температури) та формування керуючого впливу. На другому етапі на основі відомої передаточної функції об'єкта керування визначається цифрова передаточна функція дискретного регулятора методом змінного коефіцієнта [3], який забезпечує зміну температури на задану кількість градусів за заданий проміжок часу.

**Результати проведених досліджень.** У процесі досліджень виявлено, що ефективно використання запропонованого регулятора можливе тільки за умови подачі на етапі ідентифікації об'єкта керування східчастого сигналу з незначною амплітудою. Шляхом проведення

обчислювального експерименту на створеній імітаційній моделі системи автоматичного керування отримана залежність похибки керування за заданим часом перехідного процесу від амплітуди тестового сигналу при ідентифікації об'єкта керування. Ця залежність має мінімальний екстремум, який відповідає амплітуді тестового сигналу на першому етапі роботи регулятора 20%.

Також, для визначеної оптимальної за критерієм мінімальної похибки керування амплітуди тестового сигналу отримана залежність похибки керування за заданим часом перехідного процесу від тривалості першого етапу ідентифікації регулятора, яка має зворотний характер та східчасту форму. Виявлено, що до тривалості першого етапу роботи регулятора 4000 с спостерігається значна відносна похибка керування від 74 до 80%, а після даного значення похибка стрімко зменшується до рівня від 0,5 до 7%.

**Висновки.** Отримані результати досліджень дозволили визначити область ефективного використання запропонованого адаптивного дискретного регулятора. Регулятор дозволяє вивести температуру до заданого значення за заданий інтервал часу від 8000 до 35000 с, що цілком відповідає вимогам транзитної технології виробництва листа гарячекатаного. При цьому встановлено, що впровадження запропонованого регулятора замість релейного призводить до економії палива на 15-30% за рахунок запобігання періодичного охолодження заготовок у колодці.

### Перелік посилань

1. Нікіфорова В. Економічний огляд металургійної галузі України / В. Нікіфорова, // Інститут економіки промисловості НАН України: [сайт]. – Режим доступу: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metallurhijnoi-haluzi-ukrainy/#> (дата звернення 22.10.2021)

2. Кукуй К., Сульников С., Вахранев С., Светличный А. Автоматизированная система управления нагревом слитков в нагревательных колодцах обжимного стана / К. Кукуй, С. Сульников, С. Вахранев, А. Светличный // СТА: системная интеграция / металлургия. – 2001. – №3. – С. 26-33.

3. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління: Навчальний посібник / В.Г. Шаруда, В.В. Ткачов, А.В. Бубликов // Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002. – 414 с.

### Анотація

Обґрунтовано актуальність процесу автоматичного керування нагрівом злитків в нагрівальних колодцях обтискного цеху. На основі аналізу технологічного процесу сформовані вимоги до регулятора температури у колодцях, а також як інструмент дослідження розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування. Отримані унікальні закономірності зміни критеріїв якості керування в залежності від параметрів процедури ідентифікації об'єкта керування.