

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ

Барчан В. В., Жученко А. І.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, victoriyabarchan@gmail.com

У сучасному світі вуглецеві вироби широко використовується в різних галузях промисловості, зокрема на підприємствах чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості тощо. Виробництво вуглецевих виробів є досить ресурсо- та енергозатратним. Саме тому актуальною є задача ведення технологічних процесів в оптимальних режимах на ключових етапах виробництва з метою зменшення затрат та забезпечення високої якості продукції.

Одним з визначальних технологічних процесів виробництва вуглецевої продукції є термічна обробка вуглецевої сировини в електричній печі шахтного типу (електрокальцинаторі), під час якої формуються властивості вуглецевої сировини, що впливають як на перебіг наступних технологічних процесів виробництва, так і, врешті-решт, на якість готової продукції [1]. Тому задача підвищення ефективності процесу термообробки в електрокальцинаторі є актуальною і в сучасних умовах може бути розв'язана шляхом створення ефективної системи оптимального керування зазначеним процесом.

Конструктивно шахтна електропід являє собою сталеву обичайку (кожух) (рис. 1), яка всередині футерована вогнетривкими та теплоізоляційними матеріалами, у верхній і нижній торцевих частинах якої розміщено графітові або вуглеграфітові електроди [1, 2].

Шахтна під оснащується системою водяного охолодження п'єдесталу нижнього електрода, розвантажувального стола та бічної поверхні кожуха, а також системою газовідводу. В нижній частині розміщується розвантажувальний стіл з системою дозування готового продукту. Нафтовий кокс, який є сипким матеріалом, рухається вниз вздовж вертикальної осі печі у порожнині, утвореній конструкційними елементами печі, а гази, що утворюються у процесі виділення залишкових летких та часткового окиснення коксу за рахунок підсмоктування повітря через систему розвантаження, навпаки, рухаються вгору [1, 2].

Електричний струм безпосередньо проходить через електропровідний кокс та спричинює його нагрівання за рахунок виділення джоулевої теплоти. Швидкість руху сипкого матеріалу є змінною величиною і визначається дозою та частотою його вивантаження. Для забезпечення неперервності процесу на заміну вивантаженого готового продукту у нижній частині печі подається вихідний матеріал у верхню її частину через живильник [1, 2].

Процес термічної обробки вуглецевої сировини як об'єкт автоматизації є складним, нелінійним об'єктом з розподіленими параметрами, що створює значні перешкоди синтезу системи керування ним.

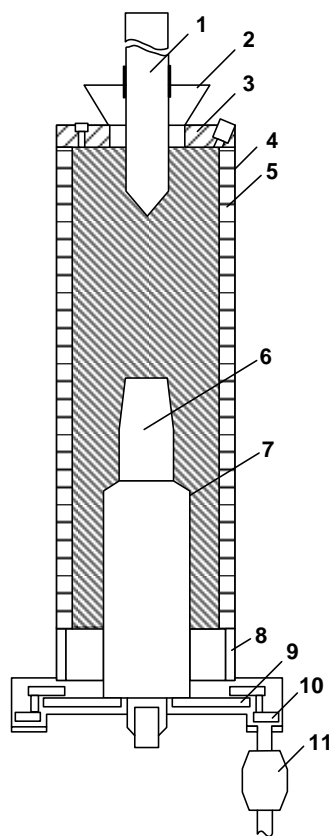


Рис. 1. Схема промислового електрокальцинатора ИЕТ-10-УХЛ-4 для отримання термоантрациту: 1 – верхній графітований електрод; 2 – завантажувальна воронка; 3 – пробка; 4 – металевий кожух; 5 – футеровка; 6 – нижній графітований електрод; 7 – опора; 8 – обичайка; 9 – стіл; 10 – лопатки механізму розвантаження; 11 – дозатор ДТА-200

Під сучасну пору для керування складними динамічними об'єктами широко використовують системи керування з *MPC*-регулятором (*Model Predictive Control*). Основною перевагою *MPC*-підходу, яка визначає його успішне використання у практиці побудови та експлуатації систем керування, є відносна простота базової схеми формування зворотного зв'язку, що поєднується з високими адаптивними властивостями. Остання обставина дозволяє керувати багатовимірними та багатозв'язними об'єктами зі складною структурою, що включає нелінійність, оптимізувати процеси в режимі реального часу в рамках обмежень на керувальні та керовані змінні, враховувати невизначеності об'єктів і збурень.

Система керування на основі *MPC*-регулятора передбачає використання математичної моделі процесу прожарювання, за допомогою якої регулятор прогнозує зміну контрольованої величини на певний проміжок часу вперед і обчислює оптимальний керувальний вплив для забезпечення найкращої траєкторії контрольованої змінної [3].

У нашій роботі було використано можливість *MPC*-регуляторів керувати *MIMO*-об'єктами (*multiple inputs, multiple outputs* – кілька входів, кілька виходів), що дозволило побудувати систему керування, в якій процес прожарювання розглядається як об'єкт з двома входами та шістьма виходами.

Алгоритм керування розраховує силу струму та швидкість подачі матеріалу залежно від температури в контрольних точках (рис. 2), які було обрано так,

щоб вони достатньою мірою характеризували температур по висоті та радіусу кальцинатора.

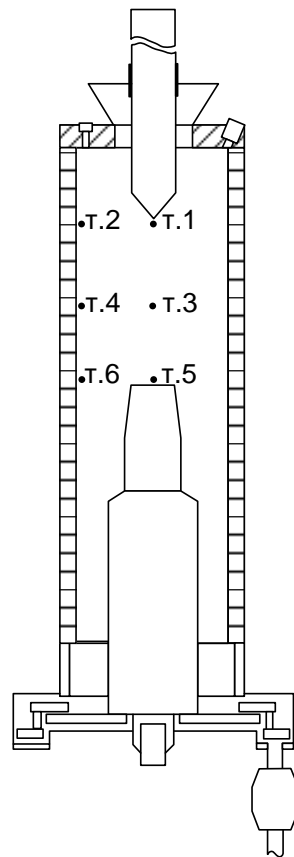


Рис. 2. Розташування контрольних точок електрокальцинатора

Структурну схему системи керування з MPC-регулятором, реалізованої в *simulink*, представлено на рис. 3.

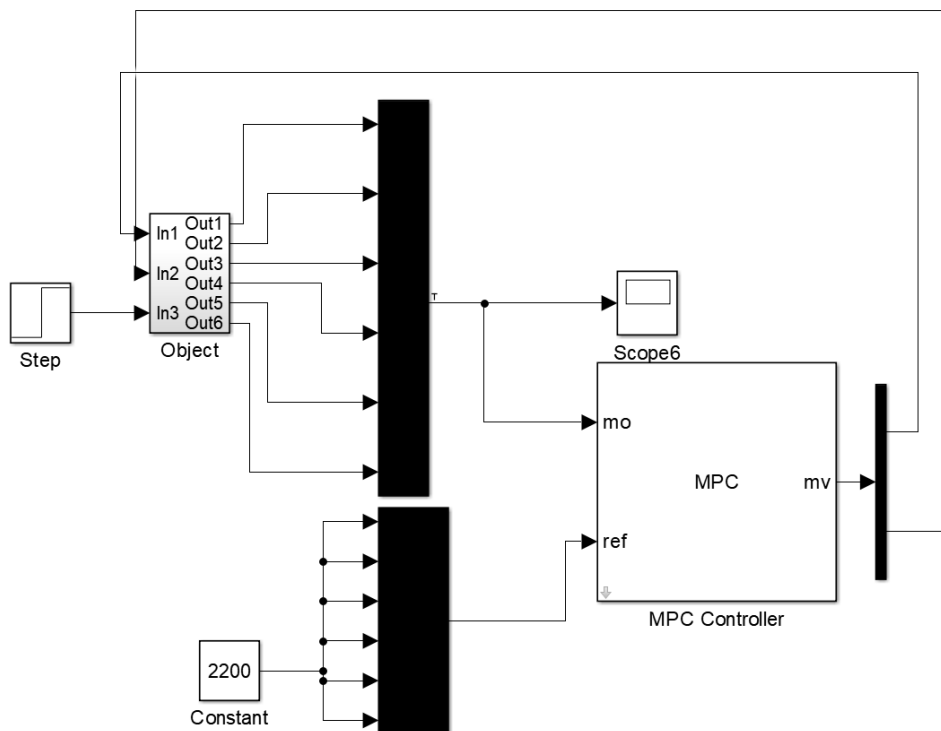


Рис. 3. Структурна схема системи керування процесом з MPC-регулятором

Використання вищенаведеної системи керування дозволить більш рівномірно прожарювати матеріал до потрібної температури в усьому об'ємі електрокальцинатора, а це, у свою чергу, забезпечить зменшення браку на наступних етапах виробництва та підвищення якісних показників готової вуглецевої продукції.

У наступних дослідженнях необхідно визначити оптимальні налаштування обраного регулятора та дослідити його ефективність у порівнянні з класичними системами керування.

1. Чалих А. Ф. Технологія і обладнання електродних і електровугільних підприємств: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Технологія і обладнання електродних і електровугільних підприємств». Москва: Металлургия, 1972. 432 с.

2. Моделювання графітування нафтового коксу в шахтній електропечі неперервної дії / Є. М. Панов та ін. *Вісник КПІ ім. Ігоря Сікорського. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*: зб. наук. праць №1 (7), 2011. С. 48–52.

3. Надеждин И. С., Горюнов А. Г., Маненти Ф. Системы управления нестационарным объектом на основе МРС регулятора и ВО регулятора с нечеткой логикой. *Управление большими системами*. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск. Выпуск 75. Москва: ИПУ РАН, 2018. С. 50–75.