

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Митрофанова Олександра Вячеславовича «Автоматизація процесу керування термічним обробленням окатишів на конвеєрній машині на основі методології нечіткої логіки», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 116 найменувань на 13 сторінках, 9 додатків на 68 сторінках. Загальний обсяг дисертації викладено на 265 сторінках друкованого тексту, з яких 165 сторінок основного тексту. Дисертація містить 66 рисунків, 4 таблиці. Розгляд дисертації дозволив визначити наступне.

Актуальність теми дисертації

У структурі собівартості виготовлених окатишів питому вагу займають операції їх термічного оброблення, що обумовлені високими енерговитратами. Якісне та ефективне автоматизоване керування термічним процесом оброблення окатишів на машині конвеєрного типу потребує розв'язання низки важливих питань. Зокрема, необхідно забезпечити формування потоків теплоносіїв із необхідними параметрами в технологічні зони із дотриманням їхніх регламентних значень. Існуючі моделі не повно описують процес оброблення окатишів з урахуванням впливу параметрів сусідніх технологічних зон. Процеси термічної обробки мають недостатню спостережливість і керованість для повністю автоматичного керування. Це призводить до того, що витрати енергоносіїв на одиницю продукції є занадто високими та параметри якості продукції зазнають значних коливань.

Окатиші виробляються із концентратів різного хімічного складу, ступеня окислення та добавками. До основних факторів, що впливають на енерговитрати машини відносять гранулометричні характеристики, фізико-хімічні властивості сирих залізородних окатишів і ефективне використання потоків теплоносіїв уздовж технологічних зон конвеєрної машини. Термічні процеси обпалення окатишів проходять послідовно в різних технологічних зонах, підвищення ефективності термічного обпалення окатишів забезпечується шляхом раціонального використання теплоносіїв за технологічними зонами та повторного використання відпрацьованих потоків теплоносіїв перед викиданням їх в атмосферу. Існуючі класичні структури систем регулювання не забезпечують в повній мірі оптимізацію керування.

Дисертаційна робота Митрофанова О. В. присвячена вирішенню науково-технічної задачі підвищення ефективності процесу термічного оброблення залізородних окатишів із розробленням нечіткої системи автоматизованого керування режимними характеристиками.

Створення моделей і методів зонного керування взаємозалежними процесами термічної обробки на машинах конвеєрного типу з урахуванням впливу нечітких і неповних параметрів технологічних зон забезпечить підвищення товарної якості готових окатишів та загальну ефективність виробництва.

Наукова спрямованість досліджень, виконаних Митрофановим О. В., підтверджується потребами відпалу окатишів, які знайшли своє відображення в рамках пріоритетних наукових робіт Криворізького національного університету, а саме «Наукові основи створення сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій для автоматизованого інтелектуального керування технологічними процесами в умовах гірничого виробництва» (держреєстрація №0116U001776), «Дослідження методів адаптивного прогнозуючого керування багатовимірними розподіленими технологічними процесами гірничо-збагачувального та металургійного виробництва» (держреєстрація №0116U001797) і «Розробка новітніх способів отримання електроенергії» (держреєстрація №0116U001839) у яких дисертант брав пряму участь.

Із урахуванням викладеного можна зробити висновок щодо актуальності теми, мети роботи і задач що вирішувались для її досягнення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендації сформульованих у дисертації.

Наукові положення, що виносяться на захист:

- температура верхнього шару окатишів на виході зони випалювання визначається сумою температури заданої для цієї зони температури верхнього шару окатишів зони попереднього нагрівання і вихідної температури газоповітряного потоку першої зони охолодження;
- вихідна температура верхнього шару окатишів у першій частині зони охолодження прямо пропорційно залежить від вихідної температури верхнього шару окатишів зони рекуперації і по експоненціальному закону впливає на тиск атмосферного повітря, яке нагнітається вентилятором у цю зону.

Ступінь обґрунтованості наукових положень сформульованих у дисертації, висновків і рекомендацій забезпечуються використанням сучасних методик наукових досліджень, методів теорії системного аналізу, теорії ідентифікації систем, статистичного аналізу, теорії автоматичного керування, методів математичної статистики та пасивного експерименту.

Достовірність наукових положень отриманих в дисертації, і нових результатів підтверджується також порівняльними характеристиками з результатами досліджень других авторів.

3. Наукова новизна отриманих результатів:

- керування процесом термічного оброблення окатишів без урахування взаємодії з взаємопов'язаними технологічними зонами не забезпечує регламентні значення параметрів технологічних зон;

- маса окатишів із візками конвеєрної стрічки в зоні попереднього нагрівання не змінюється і не залежить від впливу температури газоповітряного потоку від взаємопов'язаної зони випалювання;

- уперше удосконалено метод керування температурою відпрацьованих теплоносіїв газоповітряних потоків у високотемпературних зонах, який полягає в тому, що виконують їх перерозподіл між взаємопов'язаними технологічними зонами у функції від значень параметрів регламентних значень параметрів технологічних зон зменшуючи питомі енерговитрати і природнього газу;

- набув подальшого розвитку підхід до автоматизованого керування теплоносіями газоповітряних потоків у взаємопов'язаних технологічних зонах машини який, на відміну від відомих підходів, застосовує технологію віртуальних пристроїв для керування кожною технологічною зоною безпосередньо під час виконання технологічного процесу стабілізуючи значення параметрів у технологічних зонах машини.

4. Практичне значення результатів дисертації

Розроблені у дисертаційній роботі моделі, методи впроваджені на ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» у проектах, які використовують комплексну математичну модель, що апроксимує динаміку термічного процесу оброблення окатишів у технологічних зонах машини на основі вирішення систем нечітких функцій і принципу її параметричної ідентифікації.

Розроблено алгоритм керування процесом термічного оброблення окатишів при управлінні параметрами теплоносіїв газоповітряних потоків,

поєднаного з системами нечітких множин для кожної технологічної зони та представленого на базі блочно-послідовної структури, а також їх апаратно-програмній реалізації з використанням регуляторів із нечіткою логікою низької вартості.

Розроблено комплексну обчислювальну модель, що апроксимує динаміку термічного процесу оброблення окатишів у технологічних зонах машини і дозволяє забезпечити формування теплових потоків із урахуванням взаємного впливу.

5. Повнота викладу в наукових публікаціях, що відповідають теми дисертації

За результатами досліджень за темою дисертації опубліковано в 11 друкованих працях (зокрема 2 одноосібних), серед них: 5 статей – у наукових фахових виданнях України, 2 статті – в журналі, який входить до наукометричної бази SCOPUS, 5 статей – у журналах, що включені до міжнародних наукометричних баз, 1 стаття – у закордонному періодичному виданні.

Конкретний внесок здобувача в роботах, які написані в співавторстві, відображений як у дисертації, так і зазначено в списку наукових публікації здобувача. Зміст анотації та основних положень дисертації ідентичний.

6. Оцінка змісту дисертації

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність обраної теми, мета і завдання дисертаційної роботи, викладено наукову новизну, практичну цінність і апробацію результатів.

У першому розділі на основі огляду й аналізу літературних та патентно-ліцензійних джерел із питання сучасного аналізу стану автоматизації процесу термічного оброблення залізорудних окатишів визначені невирішені питання в цій сфері та проаналізовано процес отримання окатишів на машині конвеєрного типу.

Досліджено вимоги до управління процесом термічного оброблення залізорудних окатишів на машинах конвеєрного типу та визначено фактори, які ускладнюють їх дотримання на практиці. Виявлено параметри процесу, що у своїй взаємодії впливають на регламентні властивості виробництва придатних окатишів. Доведено, що існуючі теплові схеми машин потребують цілеспрямованої подачі потоків теплоносіїв із необхідними параметрами в технологічні зони для забезпечення їхніх регламентних значень. Встановлено, що найбільш критичним щодо обмежень величин процесу керування

термічного оброблення окатишів є неможливість чіткого і повного визначення технологічних параметрів технологічних зон і впливу однієї на іншу. Вказані особливості суттєво впливають на перехідні режими процесу технологічних зон.

У другому розділі викладено методологічні та теоретичні положення процесу керування термічним обробленням окатишів у технологічних зонах машини конвеєрного типу із застосуванням нечіткої логіки в умовах неконкретної та неповної інформації про її стан. Виконано аналіз розподілу потоків теплоносіїв по технологічним зонам машини, над шаром окатишів і на виході з нього при різних швидкостях переміщення візків конвеєрної стрічки. Доведено, що температура потоку теплоносія на виході високотемпературної зони машини визначається інтерпретацією формули Дарсі-Вейсбаха. Виявлено і формалізовано закономірності процесу обпалення залізрудних окатишів у машинах конвеєрного типу, використання яких надає змогу підвищити ефективність керування його ходом. Запропоновано вдосконалити математичні моделі процесів керування температурою технологічної зони, за рахунок введення до їхньої структури регуляторів із нечіткою логікою. Як показали результати досліджень, це дозволило забезпечити регламентні значення температури теплоносіїв газоповітряних потоків по зонам машини. Виконано моделювання систем автоматизованого керування у Control System Toolbox. Моделі враховують послідовно взаємопов'язані між собою технологічні зони і зворотні зв'язки між ними. Встановлено закономірності для автоматизованого керування процесами обпалення окатишів на основі ідентифікації точок зміни температури газоповітряних потоків при контролі параметрів об'єкта керування. Виявлено, що збільшення різниці температури теплоносія газоповітряного потоку до входу в шар окатишів і після нього відповідає більшій температурі теплоносія газоповітряних потоків, що надходить із шару окатишів. Зменшення температури теплоносія газоповітряних потоків на виході із високотемпературної зони відповідає експоненціальну закону.

У третьому розділі на підставі проведеного аналізу термічного оброблення окатишів у технологічних зонах визначено вплив на їхню обробку параметрів сусідніх технологічних зон, потоків і температури теплоносіїв, що розподіляються по шару окатишів на візках конвеєрної стрічки. Запропоновано комплексну математичну модель, що дозволяє дослідити процес обробки окатишів. Вона представлена блочно-послідовною

структурою, що складається з окремих математичних моделей технологічних зон машини. Головною ідеєю комплексної математичної моделі є те, що вхідні нечіткі параметри технологічної зони є вихідними параметрами з попередніх зон і навпаки, вихідні параметри однієї зони є вхідними параметрами наступної зони. Запропоновано використання в моделях керованих регуляторів із нечіткою логікою Fuzzy Logic Controller. Це дає змогу підвищити достовірність виконання технологічного процесу, покращити енергетичні показники при термічному процесі виробництва окатишів на машині конвеєрного типу і виконати раціональний перерозподіл потоків теплоносіїв уздовж технологічних зон. Результати досліджень показали, що виникає необхідність управляти димотягами, змінюючи параметри потоків для низькотемпературних зон, стабілізуючи потік. Виконано аналіз впливу параметрів потоків теплоносіїв на якість перехідних процесів у замкненій системі. Результати досліджень на проведених математичних моделях показали, що при зміні нечітких технологічних параметрів технологічних зон значного впливу надається температурі верхнього шару окатишів. Представлено аналіз енергетичних показників при керуванні процесом термічного оброблення окатишів на основі розподілених по технологічним зонам конвеєрної машини параметрів теплоносіїв газоповітряних потоків. Встановлено, що характеристика продуктивності димотягу змінюється ступінчасто в кожній технологічній зоні. У порівнянні з характеристикою, отриманою за експериментальними даними машини, вдалося знизити продуктивність димотягу, що призводить до зниження витрат електроспоживання на 5.78 % і природнього палива 1.1 м³/т окатишів при підтриманні необхідного температурного режиму.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації та експериментальним дослідженням при використанні схеми автоматизації процесу керування термічним обробленням окатишів на машині конвеєрного типу на основі нечіткої і неповної логіки при неповних і нечітких параметрах технологічних зон. Унаслідок виконаних досліджень представлено розроблену функціональну і структурну схеми автоматизованої системи оптимального керування термічним процесом оброблення залізорудних окатишів. Розроблено схеми використання комплексу технічних засобів автоматизації. Запропоновано встановити датчики обліку електроенергії, яка використовується вентиляторами та димотягами для транспортування потоків теплоносіїв і візків конвеєрної стрічки, та датчик витрати природнього газу

для контролю температурного режиму у високотемпературних зонах машини. Запропонована схема автоматизації дозволить раціонально використовувати енергетичні ресурси.

Зауваження по дисертації і анотації

1. У параграфі 1.3, який названо “Аналіз математичних моделей для дослідження процесу керування термічним обробленням окатишів на конвеєрній машині” розглядаються не тільки математичні моделі, а ще структурні та імітаційні моделі, методи і способи поліпшення керування, постановка задачі оптимізації. Назва підрозділу мала бути більш широкою.

2. Рис 2.2 названо як “Схема автоматизації термічного процесу ...”, але вона є дуже узагальненою функціональною схемою системи. Схема автоматизації мають інший вигляд.

3. В п. 2.2 зазначено, що складові вектору вхідних значень $[V_x]$ змінюються в широкому діапазоні, але не зовсім зрозуміло, чому обрано п’ять термів для кожної вхідної змінної та як визначалися межі термів.

4. З тексту роботи не зрозуміло ступінь впливу швидкості конвеєрної стрічки на якість перехідних процесів, що формуються нечіткими регуляторами.

5. В роботі не вказані методи та параметри первинної обробки сигналів від сенсорних пристроїв, що впливає на загальну точність і якість регулювання.

6. В тексті роботи (зокрема, стр. 56) використовується термін “безліч”, замість “множина”.

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача та його наукових праць встановлено, що дисертаційне дослідження виконано самостійно, текст роботи не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності відповідно до статті 42 Закону України «Про освіту».

8. Заключна оцінка дисертаційної роботи

В цілому зазначені зауваження не зменшують наукового рівня роботи та її практичного значення.

Дисертаційна робота Митрофанова Олександра Вячеславовича з урахуванням актуальності вирішених у роботі задач, наукової новизни, отриманих результатів і можливостей їх широкого практичного використання є закінченим науковим дослідженням, що характеризується внутрішньої цілісності та містить наукові положення і практичні результати, реалізація яких дозволяє забезпечити зниження витрати енергоносіїв, покращити якість і

збільшити виготовлення придатних окатишів з урахуванням існуючих обмежень. Робота виконана на високому науковому рівні.

Наведені у роботі наукові положення, технологічні рішення й узагальнюючі висновки повністю висвітлені у фахових наукових виданнях, пройшли апробацію та були схвалені на численних конференціях і семінарах.

За актуальністю, новизною, практичною цінністю, змістом, якістю оформлення, обсягом, структурою, об'ємом публікацій дисертаційна робота «Автоматизація процесу керування термічним обробленням окатишів на конвеєрній машині на основі методології нечіткої логіки» здобувача Митрофанова Олександра Вячеславовича відповідає нормативному змісту та напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми Криворізького національного університету зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та вимогам пп. 9, 10, 11 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії» (Постанови кабінету міністрів України №167 від 06.03.2019 р., №567 від 27.07.2016 р. та змін від 9.06.2021 р.), а її автор Митрофанов Олександр Вячеславович заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Офіційний опонент:

Кандидат технічних наук за
спеціальністю 05.13.06 інформаційні
технології,

доцент кафедри автоматизації та
інформаційних систем Кременчуцького
національного університету імені
Михайла Остроградського



І. С. Конох

Вчений секретар КрНУ



Л. В. Герасименко

Підпис доцента Коноха І. С. засвідчую 10.09.2021 р.