

6. Закрытый ящик. Как рассчитать и изготовить звуковые колонки [Электронный ресурс] / ptc73 | Акустические системы. – Режим доступа: http://www.ptc73.ru/ao_close.shtml.

7. **Оппенгейм А.В., Шафер Р.В.** Цифровая обработка сигналов [Пер. с англ, под ред. С. Я. Шаца.] / **А.В. Оппенгейм, Р.В. Шафер** — М.: Связь, 1979. — 416 с.

8. Алгоритм Герцеля (Goertzel algorithm). [Электронный ресурс] / dsplib.ru Теория и практика цифровой обработки сигналов. – Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/goertzel/goertzel.html>.

9. Динамический пересчет спектральных отсчетов на каждом такте дискретизации. Модифицированный алгоритм Герцеля [Электронный ресурс] / dsplib.ru Теория и практика цифровой обработки сигналов. – Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/goertzelmod/goertzelmod.html>.

10. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [Электронный ресурс] / dsplib.ru Теория и практика цифровой обработки сигналов. – Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/dft/dft.html>.

Рукопись поступила в редакцию 09.04.16

УДК 621.928.3-52:622.7

А. В. МИКОЛЕНКО, магистрант, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНОМ НА ЗБАГАЧУВАЛЬНІЙ ФАБРИЦІ

На сьогодні промисловість орієнтується, перш за все на продуктивність і кількість продукції, що випускається. Потрібно випускати все більше і більше кінцевого продукту, щоб покрити витрати на його виробництво і при цьому отримувати прибуток. Але якість виробленого продукту має не менш важливе значення, ніж його кількість. Випускаючи масштабну партію товару, але з низькою якістю, можна не витримати конкуренції на ринку, тому орієнтація лише на продуктивність найчастіше призводить до збитків. Отже, автоматичні системи керування повинні забезпечувати високу якість продукту без втрат продуктивності.

Розглянуто актуальні питання ефективності процесу класифікації залізородної пульпи в комплексі технологічний зумпф-гідроциклон. Обґрунтовано питання важливості якісного процесу класифікації вхідної сировини в гідроциклоні при зміні гранулометричного складу залізородної пульпи в процесі роботи гідроциклону. Розглянуто існуючі системи автоматичного керування гідроциклоном в комплексі з технологічним зумпфом, та способи компенсації збурень в системах автоматичного керування. На основі розглянутої інформації виділено основні переваги та недоліки представлених систем автоматичного керування. Виявлено, що способи та методи керування процесом класифікації залізородної пульпи вивчені не повною мірою та знаходяться на стадії дослідження. Таким чином, вказано напрямки подальших досліджень - розвиток автоматичних систем керування гідроциклоном в умовах зміни гранулометричного складу пульпи.

Ключові слова: гідроциклон, автоматична система керування, піскова насадка, густина, живлення гідроциклону.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Метою класифікації пульпи є отримання бажаних за крупністю зерен в зливні та пісках гідроциклону. Якість подальшого збагачення руди має велику залежність від гранулометричного складу залізородної сировини в зливні гідроциклону. Оскільки гранулометричний склад пульпи не лінійно змінюється протягом процесу сепарації (рис. 1), системи автоматичного керування процесом класифікації залізородної сировини повинні бути спроможні компенсувати збурення що спричинені цими змінами [1,2].

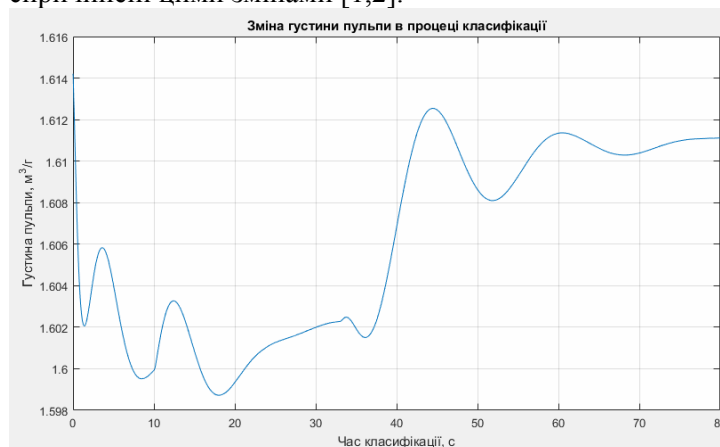


Рис. 1. Зміна щільності пульпи в процесі класифікації

Відомим способом регулювання є використання лінійних PID-регуляторів. Але при їх застосуванні залишається проблема синтезу оптимального керуючого впливу, так як коефіцієнти регулятора розраховуються на підставі відомих даних про об'єкт керування, що приводить до відхилення часу перехідного процесу та перерегулювання від бажаних значень при впливі невідомих збурюючих факторів[3-5].

Аналіз досліджень і публікацій. В роботі [6] розглянуто спосіб автоматичного керування гідроциклоном шляхом зміни витрати пісків. Суть способу полягає в тому, що витрата пісків змінюється залежно від співвідношення витрат пульпи в зливів і в пісках гідроциклону, крім того, витрата пісків корегується додатково в залежності від величини крупності розділення з урахуванням густини пульпи в зливів гідроциклону. Технічний результат полягає в підвищенні точності сепарації твердих частинок по крупності за рахунок поліпшення якості управління.

Технічний результат досягається тим, що в способі автоматичного управління гідроциклоном шляхом зміни витрати пісків, в якому витрату пісків змінюють залежно від співвідношення витрат пульпи на зливів і пісках гідроциклону, витрату пісків змінюють додатково залежно від крупності розділення з урахуванням густини пульпи на зливів гідроциклону.

Технічне завдання досягається шляхом внесення корекції в контур управління якістю продукту за поточною величиною густини зливу гідроциклону.

На практиці, стабілізація розміру крупності розділення не гарантує необхідної якості продукту. Це трапляється при зміні густини пульпи зливу гідроциклону. Тому, вводиться корекція в контур управління якістю готового продукту за поточною величиною густини пульпи.

Коригування розміру крупності розділення з урахуванням густини пульпи на зливів гідроциклону призводить до зміни якості управління, що забезпечить необхідну для подальших процесів крупність зерен в зливів гідроциклону.

Принципову схему пристрою зображено на рис. 2.

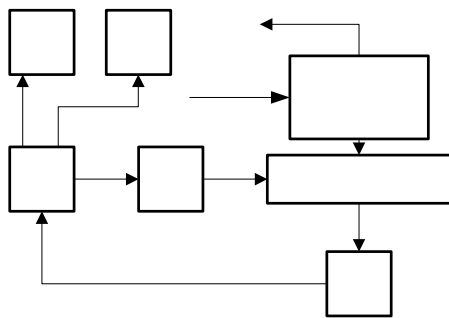


Рис. 2. Структурна схема методу автоматичного керування гідроциклоном шляхом зміни витрати пісків

Вимірюється витрата пульпи в зливів і пісках гідроциклону (1) витратомірами (2,3) і в'язкість пульпи в зливів густоміром (4), що встановлений на зливів гідроциклону (1). Дані у вигляді електричних сигналів надходять до регулюючого мікроконтролера (5).

У мікроконтролері (5) відбувається порівняння густини пульпи на зливів гідроциклону (1) із заданою величиною густини, яка визначається в залежності від типу сировини.

сировини.

При величині, що є вищою порогового значення з урахуванням величини і знаку отриманої неузгодженості, виробляється керуючий сигнал, який через виконавчий механізм (6) впливає на регулюючий орган (7), змінюючи переріз піскової насадки, щоб прибрати помилку системи.

При збільшенні густини пульпи на зливів, діаметр піскової насадки буде зменшується і навпаки. При цьому крупність розділення стабілізується на заданому значенні.

Перевагою цього способу автоматичного керування гідроциклоном шляхом зміни витрати пісків є те, що витрата пісків коректується додатково в залежності від величини крупності розділення з урахуванням густини пульпи на зливів гідроциклону.

Недоліки методу в тому, що необхідно контролювати стан піскової насадки, так як вона може зношуватися при регулюванні, так як точність регулювання піскової насадки сильно залежить від технічного стану піскової насадки.

У роботі [7] запропоновано спосіб автоматичного керування гідроциклоном шляхом впливу на зливну насадку. Схеми з впливом на перетин зливний насадки застосовуються при каскадному розташуванні циклонів. Зображена на рис. 3 схема має наступний принцип роботи. У схемі забезпечується сталість густини пісків гідроциклону (1) шляхом підтримки в ньому заданого вакууму. Дифманометр (2), отримуючи вимірювальний імпульс від вакуумної трубки (1), керує через перетворювач (3) і регулятор (4) відкриттям насадки (5), розташованої в зливному патрубку гідроциклону (1). Через насадку (5) проходить пульпа з малим вмістом великих класів, що забезпечує довговічність роботи насадки.

Перевагою способу автоматичного керування гідроциклоном шляхом впливу на зливну насадку є те, що система завжди підтримує щільність пісків гідроциклону, що в свою чергу впливає на ступінь класифікації залізородної пульпи.

Недоліком цього способу є неточний поділ твердих частинок по крупності через порушення вакууму в гідроциклоні внаслідок підсмоктування повітря з боку зливу і перекриття пісками

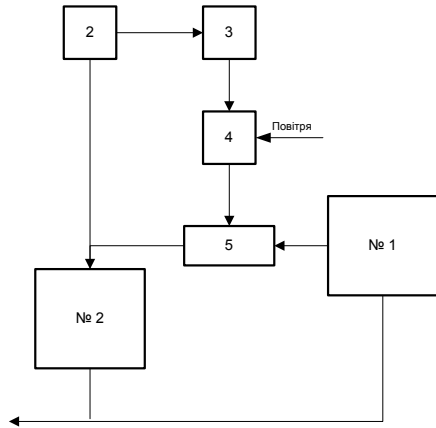
5

6

7

нижнього кінця повітряного стовпа при малих діаметрах піскові насадки, забивання вакуумної трубки, що вставляється в гідроциклон через отвір в центрі його верхньої кришки, а також громіздкість і складність всієї системи в цілому.

Рис. 3. Схема автоматичного регулювання гідроциклону по вакууму з впливом на зливну насадку



регульованих піскових насадок (рис. 4).

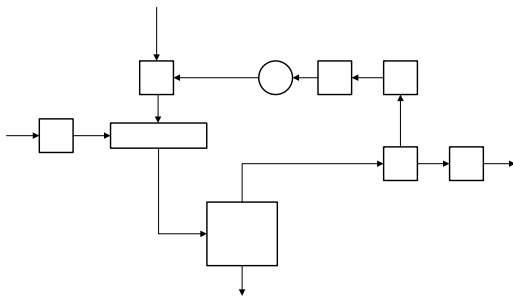


Рис. 4. Схема автоматичного регулювання гідроциклону по щільності зливу з контролем його гранулометричного складу

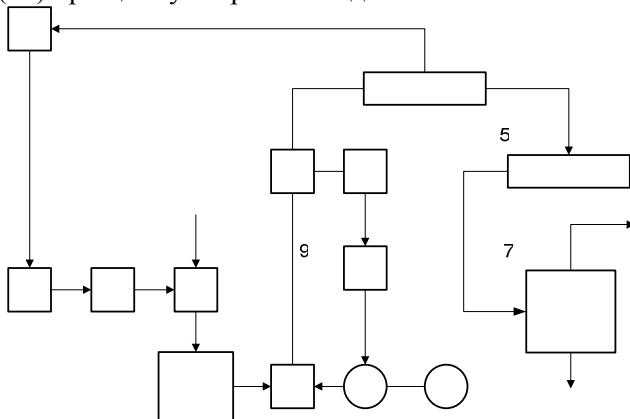
Перевагою даного способу автоматичного керування є те, що в зливі гідроциклону при будь-якому відхиленні гранулометричного складу вхідної пульпи, буде підтримуватися задана щільність пульпи та заданий гранулометричний склад без застосування швидко зношуваних регульованих піскових насадок.

Недоліком цього способу є відсутність однозначної залежності між густиною і якістю розподілення, в слідстві чого має місце недостатньо чіткий поділ по крупності, злив гідроциклону засмічується великими частками, а піски - навпаки, дрібними.

Система автоматичного регулювання гідроциклону за каналом густини пульпи в живленні гідроциклону представлена в роботі [7]. У цій системі густина пульпи в живленні гідроциклонів підтримується на заданому рівні за допомогою схеми двохпозиційного регулювання, що включає ваговий датчик густини (1) із вторинним приладом (2), що має регулюючий задатчик з контактним виходом, перетворювач (3), виконавчий механізм (4) і регулюючий клапан (5), через який подається вода в зумпф (6). За допомогою електромагнітного витратоміру (10) із вторинним приладом (11), регулятора (12) і електромагнітної муфти ковзання (13) здійснюється стабілізація об'ємної витрати пульпи, яка подається в гідроциклон (9) через ємність (8).

Перевагою цього методу автоматичного керування є те, що швидкість ротора насоса (7) за допомогою електромагнітної муфти ковзання підтримується на заданому регулятором (12) рівні відповідно до заданої витрати пульпи незважаючи на те, що асинхронний електродвигун насоса (14) при цьому зберігає швидкість незалежною. Схема систем зображена на рис. 5.

Рис. 5. Схема автоматичного регулювання гідроциклону за каналом щільності пульпи в живленні



Недоліком даного способу автоматичного керування є те, що асинхронний двигун постійно працює з однією швидкістю, що приводить до значних витрат електроенергії, та при цьому така робота двигуна швидко псує запірну арматуру, що приводить до збоїв в її роботі та помилок в керуванні всією системою.

Ю.Я. Гайтановим, Л.П. Любченко та С.К. Черниловским у роботі [8] запропо-

новано систему автоматичного керування гідроциклоном шляхом зміни розрідження пульпи в тілі гідроциклона (рис. 6).

У процесі надходження гідросуміші на вхід гідроциклона, тиск гідросуміші в живильному патрубку (3) фіксується датчиком тиску (2), від якого перетворене значення тиску гідросуміші у вигляді стандартного вихідного сигналу по лінії зв'язку (1) надходить на пульт (4), де ПІ-регулятор подає командний сигнал на виконавчий механізм регулюючого клапана (6) з метою відкриття його прохідного перетину настільки, щоб пропустити через патрубок (7) на вхід вихрової камери обсяг води, відповідний концентрації вихідної пульпи.

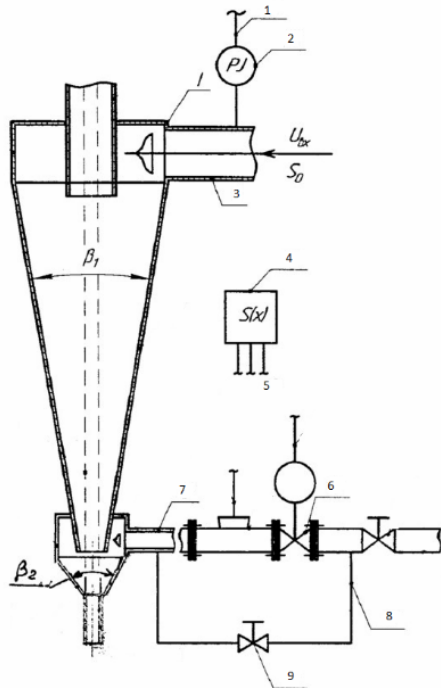


Рис. 6. Схема керування гідроциклоном шляхом зміни розрідження пульпи в тілі гідроциклона

Далі закривається відсічна арматура (9), перекидаючи тим самим прохід води через лінію (8), і система переходить в режим автоматичного керування.

Перевагою цієї системи керування є те, що в ній не використовуються швидкозношувані піскові насадки, що значно спрощує та здешевлює обслуговування системи автоматичного керування.

Недоліком системи є те, що при максимальному збільшенні концентрації гідросуміші на вході в гідроциклон, зменшується тиск гідросуміші в пульпопроводі внаслідок збільшення опору твердої фази гідросуміші, при цьому зменшуються і швидкість живлення на вхідному патрубку, і тангенціальна швидкість всередині гідроциклона, отже, зменшуються вертикальна осьова швидкість всередині гідроциклона і її виштовхувальна сила, тобто з осьового каналу будуть виноситися частки менше заданого розміру.

Тому для підтримки заданих потоків і отримання в зливні гідроциклона частинок заданої крупності на підставі вимірювання тиску гідросуміші в патрубку, ПІ-регулятор генерує сигнал на максимальне відкриття перетину магістрального водоводу і збільшення величини вертикальної осьової швидкості гідроциклона до розрахункової.

Висновки на напрямки подальших досліджень. Оптимальна класифікація залізорудної пульпи має велике значення з точки зору оптимізації процесу збагачення.

Найбільшої ефективності можна досягти при чіткому розподілу класів крупності в зливні гідроциклона [9-11].

Наведені системи автоматичного керування при впливі різних збурюючих факторів не дозволяють отримати бажану гранулометричну характеристику в зливні гідроциклона, що, в свою чергу, є перешкодою на шляху удосконалення процесу збагачення залізної руди.

Напрямок подальших досліджень є розвиток систем автоматичного керування гідроциклоном з використанням адаптивних регуляторів [12,13] та систем нечіткої логіки [14,15] для синтезу оптимальних законів керування гідроциклоном в умовах зміни гранулометричного складу залізорудної сировини.

Список літератури

1. Sbarbaro D. Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
2. Rajamani R. Optimal control of a ball mill grinding circuit. / Rajamani R., Herbst J. / Chemical Engineering Science. – 1991 – no. 46(3) – pp. 861–870.
3. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник [Текст] / Попович М.Г., Ковальчук О.В., – К.: Либідь, 1997р., – 533 с.
4. Herbst J. Control of grinding circuits. Herbst J., Rajamani R. / Computer Methods for The 80's - 1980 - pp. 770–786
5. Pomerleau A. A survey of grinding circuit control methods: from decentralized PID controllers to multivariable predictive controllers. Pomerleau A., Hodouin D., Gagnon E. / Powder Technology. – 2000. – no. 108 – pp. 103–115.

6. Пат. 2445171 Российская Федерация, МПК В04С 11/00, В04С 3/00, G05D 24/00. Способ автоматического управления гидроциклоном [Текст] / **Андреев Е.Е., Львов В.В., Николаева Н.В.**; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)» — №2010121474/05; заявл. 26.05.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. №8, — 5с.

7. Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов [Текст] / **Зубков Г.А., Забелин В.Л., Корендяев Г.В.** [и др.] — М.: Недра, 1967г. — 484 с.

8. Пат. 2375120 Российская Федерация, МПК В03В 5/62, В04С 5/00. Гидроциклон и способ регулирования работы гидроциклона [Текст] / **Гайтанов Ю.Я., Любченко Л.П., Черниловский С.К.**; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Золотой Остров» — №2008114577/15; заявл. 14.04.2008; опубл. 10.12.2009, Бюл. №34, — 17 с.

9. **Поваров А. И.** Гидроциклоны на обогатительных фабриках [Текст] / **Поваров А.И.** — М.: Недра, 1978г., — 232 с.

10. **Тихонов О. Н.** Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых. [Текст] / **Тихонов О. Н.** — М.: Недра, 1984г., — 207 с.

11. **Марюта А.Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик [Текст] / **Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А.** — М.: Недра, 1983г., — 277 с.

12. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении [Текст] : учеб. пособие. / **Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А.** [и др.] — СПб: НИУ ИТМО, 2013г., —277 с.

13. **Мирошник И. В.** Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами [Текст] / **Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л.** — СПб.: Наука, 2000г., — 549 с.

14. **Гостев В.И.** Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / **Гостев В.И.** — К.: «Радиоаматор», 2008г., — 972 с.

15. **Штовба С.Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / **Штовба С.Д.** — М.: Горячая линия – Телеком, 2007г., — 288 с.

Рукопис подано до редакції 13.04.16

УДК 004.896:[669.162: 662.614]

М.П. ТИХАНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., А.О. ПУЛИНЕЦЬ, студент
Криворізький національний університет

УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОВИМ ПРОЦЕСОМ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

У роботі розглянуто існуючі системи управління доменною піччю. Загальним недоліком розглянутих систем є те, що вони не можуть враховувати невизначеності вихідних параметрів доменної печі та нечіткість процесів, що протікають в ній. Розробка системи автоматичного керування з нечіткою логікою дозволить врахувати всі недоліки "класичних" систем автоматичного керування, а також передбачити поведінку системи.

Встановлено, що тепловий режим є найважливішим параметром доменного процесу і при цьому досить складним в дослідженні. Для таких складних об'єктів управління, як доменна піч, необхідна система, яка зможе сама реагувати на зміну параметрів всередині об'єкту і приймати рішення. У системах управління з нечіткою логікою використовують нейрорегулятори. Були змодельовані та досліджені три види нейронних регуляторів, які забезпечують бажаний перехідний процес, реакцію на випадкову ступінчасту дію.

Аналіз літературного огляду і експериментальних робіт, показав, що:

тепловий режим доменного виробництва залежить від багатьох внутрішніх і зовнішніх чинників, таких як нагрів дуття, склад шихти, що подається у піч, тиск всередині печі, повнота хімічних і теплообмінних процесів та інше; передбачення поведінки системи дає можливість уникнути невизначеностей і знизити обчислювальну похибку, а також зробити технологічний процес більш продуктивним та якісним.

Ключові слова: доменна піч, тепловий процес, нечітка логіка, система автоматичного керування, адаптивна система, нейрорегулятор.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасне доменне виробництво - це постійне зростання потужності доменних печей, запровадження нових методів і технологій, що допомагають зробити технологічний процес більш продуктивним та якісним.

З точки зору управління доменний процес є досить складним об'єктом, що має залежні змінні, непостійні параметри, високий рівень перешкод та нелінійні залежності. Через збільшення інформації, яку необхідно збирати для керування доменною піччю, ускладнився й сам процес управління доменним виробництвом. Для обслуговування печі необхідно більш кваліфікований персонал, оскільки аналізувати інформацію, що надходить, та обирати оптимальні керуючі впливи стає дедалі складніше. В таких умовах набуває актуальності впровадження систем автоматичного керування і контролю доменним виробництвом.