

Л.І. Цвіркун канд. техн. наук, Л.В. Бешта, А.В. Кожевніков канд. техн. наук
(Україна, Дніпро, Національний гірничий університет)

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГРАВІТАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗБАГАЧЕННЯ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Анотація. Проведений аналіз збагачення вугілля засвідчив, що гідравлічні класифікатори – одні із ефективніших апаратів для збагачення вугільних шламів.

Повний факторний експеримент, проведений на фізичній моделі гідравлічного класифікатора, дозволив установити закономірності розподілу матеріалу у висхідному потоці рідини апарата "Floatex".

Ідентифікація гідравлічного класифікатора дозволила отримати уточнену за експериментальними даними модель об'єкта, що дає можливість розробити алгоритми керування апаратом "Floatex" для подальшої автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, алгоритми керування, ідентифікація, збагачення, вугільні шлами, гравітаційні методи, гідравлічний класифікатор.

Аннотація. Проведений аналіз обогачення угля показав, что гидравлические классификаторы – одні из эффективных аппаратов для обогачення угольных шламов.

Полный факторный эксперимент, проведенный на физической модели гидравлического классификатора, позволил установить закономерности распределения материала в восходящем потоке жидкости аппарата "Floatex".

Идентификация гидравлического классификатора позволила получить уточненную по экспериментальным данным модель объекта, что позволяет разработать алгоритмы управления аппаратом "Floatex" для дальнейшей автоматизации.

Ключевые слова: автоматизация, алгоритмы управления, идентификация, обогащение, угольные шламы, гравитационные методы, гидравлический классификатор.

Abstract. Conducted analysis of coal enrichment showed that hydraulic classifiers are one of the most effective devices for enriching coal slimes.

The full factorial experiment, carried out on the physical model of the hydraulic classifier, made it possible to establish regularities in the distribution of material in the ascending fluid flow of the "Floatex" apparatus.

The identification of the hydraulic classifier made it possible to obtain a model of the object refined from the experimental data, which makes it possible to develop algorithms for controlling the "Floatex" apparatus for further automation.

Keywords: automation, control algorithms, identification, enrichment, coal sludge, gravitational methods, hydraulic classifier.

Вступ

Збагачення вугільного шламу нині є в важливу проблему, вирішення якої неможливе без автоматизації. Вона дозволить не тільки знизити втрати палива з відходами, а й поліпшити технологію збагачення вугілля, збільшити вихід цінних продуктів збагачення і знизити собівартість концентрату.

Процес збагачення полягає в обробці видобутої сировини, в результаті якої відділяється чисте вугілля від різних мінеральних домішок і порожніх порід.

При збагаченні вугілля отримуються зазвичай три види продукту: концентрат низькозольний, малосірчаний; промисловий продукт, високозольний (енергетичне паливо); шлами [1].

Сьогодні ринку збуту вугілля потрібен концентрат кращої якості з низьким вмістом золи, вологи і сірки.

Постановка задачі

Проведені дослідження засвідчили, що у теперешній час ринку необхідні поставки концентрату вугілля кращої якості з низьким вмістом золи, вологи і сірки.

Нині за кордоном широкого поширення набула технологія гравітаційного збагачення вугільного шламу, що переробляється за крупністю або щільністю. Дана технологія має високу економічну ефективність, а її елементами є апарати гравітаційного поділу.

В Україні застосування зазначеної технології стримується недостатньою вивченістю процесів, які відбуваються в гравітаційній системі, що важливо при її автоматизації.

Тому для реалізації таких технологій необхідно виконати вибір і обґрунтування методу збагачення вугільних шламів, розробити та уточнити за експериментальними даними модель об'єкта автоматизації.

Вирішення задачі

Увесь цикл переробки вугілля з метою збагачення включає в себе три основних етапи [1]: підготовчий (дроблення, подрібнення, грохочіння та класифікація), безпосереднє збагачення (гравітаційне, фло-таційне або електрична сепарація) і останній або прикінцевий (сушка, якщо проводиться мокрий спосіб збагачення).

Через сучасну механізацію видобутку вугілля, рядове вугілля містить багато дрібних фракцій і породи, що приводить до збільшення вугільної дріб'язки і відповідно до шламів при збагаченні.

Одним з технологічних рішень, які спрямовані на ефективну переробку шламів з отриманням товарного продукту з покращеними споживчими властивостями, є гравітаційні методи збагачення.

Гравітаційні методи збагачення вугільних шламів нефлотаційної крупності займають провідне місце серед інших методів збагачення як в практиці переробки вугілля, так і золотовмісних, вольфрамових руд і руд чорних металів [1]. Дані технології мають високу економічну ефективність, оскільки висока продуктивність гравітаційних машин дозволяє спростувати технологічні схеми збагачувальних фабрик, знижувати питомі капітальні витрати на їх будівництво, собівартість переробки і зменшувати кількість обслуговуючого персоналу.

В останні роки застосовуються такі методи гравітаційного збагачення вугільних шламів: у важкосередовищних циклонах, гвинтових сепараторах, відсаджувальних машинах, гідросайзерах тощо.

Перевагами технології збагачення вугілля у важкосередовищних гідроциклонах є: відносно висока точність розподілу; ефективне збагачення вугілля важкої і дуже важкої збагачуваності; висока точність регулювання щільності розподілу.

Недоліки: відносно високі експлуатаційні витрати (головним чином на електроенергію і магнетит); необхідність регенерації магнетитової суспензії.

Застосування гвинтових сепараторів базується на низьких експлуатаційних витратах при досить високій ефективності розподілу вихідного вугілля на фракції різної щільності, особливо при виділенні високозольних важких фракцій. Можна стверджувати, що це найменш витратне обладнання, що застосовується в гравітаційних процесах збагачення.

Відсаджувальні машини набули широкого поширення в практиці збагачення всіх типів енергетичного і коксівного вугілля легкої та середньої фракції завдяки: можливості ефективного збагачення вугілля різного фракційного і гранулометричного складів у широкому діапазоні їх марочної приналежності; цільового призначення та збагачуваності; малоопераційності технологічного комплексу; високої продуктивності (5–20 т/рік на м² робочої площі відсаджувальної машини); відносно низької енергоємності процесу.

Але для збагачення тонких шламів ефективність їх застосування, а також гвинтових сепараторів – відносно низька.

Застосування гідросайзерів є вирішенням проблем при збагаченні дрібних вугільних фракцій, оскільки останні забезпечують високоефективне вилучення вугільної фракції розміром 0,08–3 мм. Метод поєднує відносно низькі капітальні та експлуатаційні витрати з можливим простим автоматичним режимом роботи.

Переваги гідросайзерів: відносна простота пристрою, можливість збагачення вугілля з низькою щільністю розподілу менше 1500 кг/м³, можливість автоматичного регулювання щільності розподілу, відносно висока питома продуктивність, великий термін роботи.

Таким чином, аналіз виявив, що для збагачення вугільних шламів найбільш ефективним є гравітаційний метод із застосуванням гідросайзерів.

Розглянемо гідросайзер "Floatex", який має досконалу конструкцію за рахунок обладнання декількома розвантажувальними клапанами для стабілізації режиму розподілу і може бути використаний для збагачення вугільних шламів.

Детально конструкцію і принцип роботи гідросайзера "Floatex" розглянуто в роботі [1].

Апарат "Floatex" являє собою сепаратор з стисненим осадженням шламу в потоці води, що підіймається. Апарат є ємністю, яка звужується до низу.

Потік води, що підіймається, під постійним тиском та із заданою швидкістю поступає в камеру тиску, і далі рівномірно розподіляється у гідросайзер через розподільну пластину. Вода подається окремим насосом з бака з постійним заповненням води.

Для досягнення необхідного значення швидкості потоку при запуску установки передбачена система клапанів регулювання потоку разом з витратомірами.

Згідно з процесами, що відбуваються, в апараті можна виділити дві частини: відділення класифікації (вище подачі води) і відділення збору і розвантаження важких фракцій (нижче подачі води).

Між ними розташовується пристрій (система трубок, встановлених на певній відстані одна від одної), який утворює висхідні потоки рідини.

Через верхню частину в гідросайзер безперервно завантажуються вугільні шлами у вигляді пульпи, з вмістом 40–60% твердої фази за масою.

З надходженням пульпи мінерали взаємодіють з попередньо сформованим прошарком, який знаходиться в підвищеному стані за рахунок висхідного потоку води, швидкість якого визначається гранулометриєю і плотнометрією живлення та необхідною щільністю розподілу пульпи. Під час попадання частинок у висхідний потік води відбувається їх розподіл. Тверда фаза в гідросайзері розділяється таким чином, що більші (або важкі) частинки концентруються в нижній частині сепаратора, а тонкодисперсні (легкі) частинки – у верхній частині.

Таким чином, зважений прошарок більш легкої фракції вугілля утворюється зверху важких фракцій.

Щільність зваженого прошарку підтримується регульованим скиданням надлишку матеріалу через розвантажувальні клапана гідросайзера.

Вихідний матеріал, що подається, витісняє дрібну і легку фракції вугілля через перелив гідросайзера в зливний жолоб. Важкі фракції опускаються вниз під дією сили тяжіння і згодом віддаляються через розвантажувальний отвір, яке змінюється системою автоматичного регулювання. Для безперервної роботи гідросайзера необхідно підтримувати постійну подачу висхідного потоку води при постійному тиску.

Фізичні процеси, які відбуваються, у відділенні збирання і розвантаження важких фракцій, подібні до тих, що мають місце в сгущувальній воронці і досить добре формалізовані [2].

Відомі також і моделі, що описують рух легких частинок у висхідному потоці різних середовищ (рідина, газ). Так, у роботі проф. Тихонова О.М. описані процеси розподілу матеріалу, в основі яких лежать аналітичні методи з використанням фізичних законів матеріального миру і з'єднаних за допомогою комплексу гіпотез [2]. Проте, як моделі, що складаються із сукупності інтегродиференціальних рівнянь, вони погано розкриті, не враховують конструктивних особливостей технологічного апарата і, що саме головне, малопридатні для вирішення проблеми керування.

У роботі [3] отримана математична модель переміщення легких частинок на основі експериментального методу. На жаль, дана модель придатна тільки для описання руху необмежених частинок в окремому одиничному висхідному потоці. Крім того, в її структурі відсутні характерні елементи для вирішення проблеми керування.

Моделі технологічних процесів, які отримані різним способом і призначені для застосування в системі керування, повинні містити істотну інформацію про вплив окремих факторів і ефектів їх взаємодії на величини, за якими оцінюється якість ведення технологічного процесу. Інформацію про зазначені причинно-наслідкові зв'язки в об'єкті керування з найбільшою ефективністю можна отримати шляхом проведення активного експерименту на фізичній моделі технологічного процесу [4].

Проведення експерименту

У Національному гірничому університеті була розроблена фізична модель технологічного апарата "Floatex" [2]. На цій моделі був проведений повний факторний експеримент для встановлення причинно-наслідкових зв'язків процесу розподілу матеріалу і відображення їх у вигляді регресійних залежностей.

Структура математичної моделі гідравлічного класифікатора наведено на рис. 1, де D_p – гранулометричний склад пульпи; Q_p – об'ємні витрати пульпи у живленні; Q_v – витрата води, що подається; H_u – рівень зони ущільнення над поверхнею трубопроводу – вхідні величини.

D_{gp} – гранулометричний склад готового продукту; γ_i – відсотковий склад i -го класу; Q_{gp} – об'ємні витрати готового продукту – вихідні величини.



Рис. 1. Структурна схема моделі гідравлічного класифікатора

Ця установка має два основні канали керування, які зв'язані через технологічний процес:

- витрати води, що подається, – гранулометричний склад (щільність) готового продукту;
- площа розвантажувального перерізу – висота зони ущільнення.

Метою експерименту було одержання статичних і динамічних характеристик даного об'єкта і подальший синтез системи автоматичного керування [2].

Як тверда фаза пульпи, яка подається в апарат, використаний мінерал з $\rho = 2,42 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Верхньому "+" і нижньому "-" рівням вхідних величин відповідають такі значення: гранулометричного складу – $\gamma_{\max} (0,5 \dots 0,2)$ мм та $\gamma_{\min} (0,2 \dots 0)$ мм; витрата води, що подається, – 3 л/хв та 1,5 л/хв; зважений прошарок – 30 мм та 5 мм; витрати пульпи в живленні – 700 гр/хв та 900 гр/хв відповідно.

Грансклад (крупність легкого продукту) визначався на базі ситового аналізу, що припускав отримання попередніх оцінок часу перехідного процесу при східчастотній зміні одного або декількох вхідних параметрів і значенні мінімальної маси проби, що відбиралась для ситового аналізу.

Для проведення експерименту відбиралися проби матеріалу з таким гранулометричним складом: $\gamma_{\max} (0,5 \dots 0,2)$; $\gamma_{\min} (0,2 \dots 0)$.

Експеримент проводився у такій послідовності:

У завантажувальну частину апарата рівномірно подавали матеріал. При чому, згідно з планом експерименту, верхньому рівню ("+") відповідало значення $\gamma_{\max}=0,67 \%$ і $\gamma_{\min}=0,33 \%$; нижньому рівню ("-") – $\gamma_{\max}=0,33 \%$ і $\gamma_{\min}=0,67 \%$.

Паралельно з подачею матеріалу в заповнений класифікатор через трубопроводи подавали воду зі швидкістю рівня "+" – 3 л/хв; для "-" – 1,5 л/хв.

Мінімальна маса проби визначалася за відомими залежностями [4]:

$$m = 0,25 \cdot \rho \cdot f \cdot d_c \cdot S_{\text{vidt}}^{-2} \cdot (d_{\max}^2 - d_c^4 \cdot d_{\max}^{-2}),$$

де, ρ – щільність матеріалу; f – коефіцієнт форми; d_c – розмір комірки сита; S_{vidt}^2 – дисперсія відтворюваності; d_{\max} – максимальний розмір шматка.

Графіки перехідних процесів $D_n(t)$ і $Q_n(t)$ наведені на рис. 2.

Неважко побачити, що тривалість перехідного процесу, для зазначених вихідних величин становить 100 с. Згідно з рекомендаціями у роботі [5] при проведенні планованого експерименту цей час збільшився на 20 %.

Виконані дослідження дозволили встановити закономірності розподілу матеріалу у висхідному потоці рідини та отримати уточнену за експериментальними даними модель об'єкта, що дає можливість розробити алгоритми керування апаратом "Floatex" для подальшої автоматизації.

Висновки

Таким чином:

- проведений аналіз збагачення вугілля засвідчив, що гідравлічні класифікатори – одні із ефективніших апаратів для збагачення вугільних шламів;
- повний факторний експеримент, проведений на фізичній моделі гідравлічного класифікатора, дозволив установити закономірності розподілу матеріалу у висхідному потоці рідини апарата "Floatex";
- ідентифікація гідравлічного класифікатора дозволила отримати уточнену за експериментальними даними модель об'єкта, що дає можливість розробити алгоритми керування апаратом "Floatex" для подальшої автоматизації.

Список використаних джерел

1. Цвіркун Л.І. Аналіз стану і вибір методу збагачення вугільних шламів з метою подальшої автоматизації / Л.І. Цвіркуна, Л.В. Бешта // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: НГУ, 2017. – № 50. – С. 288-293.
2. Бешта Л.В. Физическая модель гравитационного обогащения угольных шламов в аппарате «Floatex» / Л.В. Бешта, Д.А. Бешта, Л.И. Цвиркун // Проблеми розвитку впровадження інформаційних технологій у наукову та інноваційну сферу освіти: матеріали XI міжнар. конф., 25 листопада 2014 р., м. Дніпропетровськ, Д.: Національний гірничий університет, 2014. – С. 30-31.
3. Барский Е. Барский М. Оптимальные скорости потока воздуха в гравитационных процессах разделения и их соотношение со скоростями витания и осаждения частиц. – "Обогащение руд". №2 2002
4. Козин В.З. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. – М.: Недра, 1985. – 294 с.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В. Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 278 с.

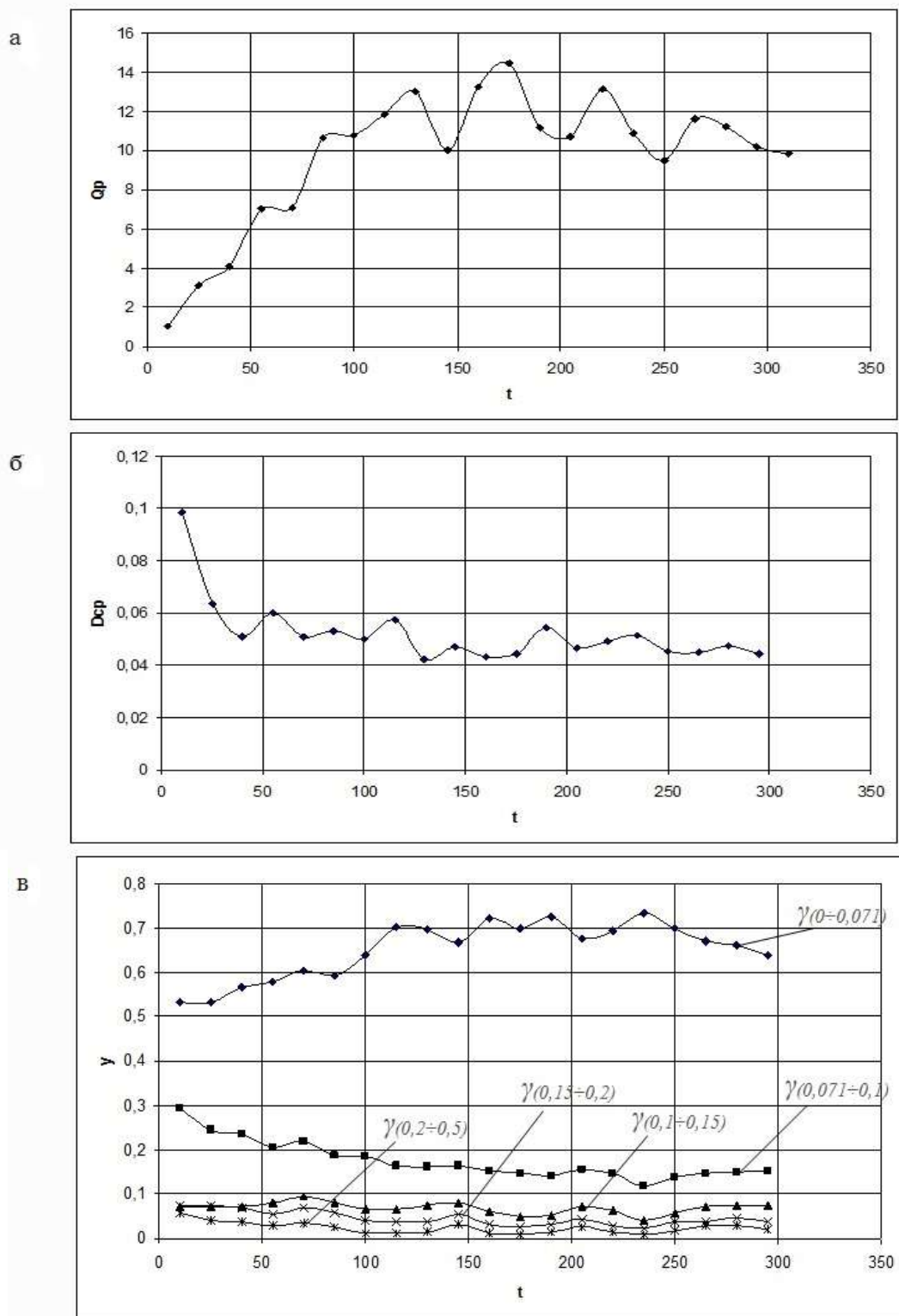


Рис. 2. Графіки перехідних процесів, коли Q_p залежить від t (а), $D_{p,ср}$ від t (б) та y від t (в)

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Слесарєвим В.В.