

9. Kanungo S.B., Sant B.R. Reduction of phosphorus content from various high phosphorus manganese ores on India by sodium carbonate roasting // J. Mines, Metals and Fuels. – 1997. – V.19. - №12. - p. 364-368.

10. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И. и др. Металлургия марганца Украины. Київ «Техніка». – 1996. – 472с.

Рукопись поступила в редакцию 13.03.14

УДК 622.73-52

В.Ю. ГОРОБЕЦЬ, асистент, Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНУСНОЇ ДРОБАРКИ

Показано значущість точного вимірювання та регулювання рівня завантаження конусної дробарки. Виконано огляд існуючих систем вимірювання та вказано їх недоліки. Запропоновано спосіб вимірювання рівня завантаження дробарки на основі споживаної потужності її двигуном. Визначено фактори, на основі яких формується завдання рівня завантаження дробарки та розроблено структурну схему системи керування.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для побудови сучасної системи керування трактом III-IV стадії дроблення та безпосередньо дробарками середнього та дрібного дроблення важливим є визначення рівня заповнення камери дроблення дробарки. Найбільшої уваги потребують конусні дробарки дрібного дроблення (КДД) через те, що вони значно більше навантажені. Тоді як конусні дробарки середнього дроблення (КСД) часто є недовантаженими внаслідок невідрегульованої роботи грохоту, що стоїть перед ними, або повної його відсутності. Вітчизняними та закордонними дослідниками визначено, що для кожного типу дробарки існує оптимальний рівень заповнення, що дозволяє досягти максимальної продуктивності при заданій якості. Здебільшого для оптимального режиму роботи дробарка КДД має бути заповнена на 70-90 % [8,10,12].

Підтримання високого рівня заповнення дробарки є складною задачею внаслідок великої інерційності процесу та можливості завалу дробарки.

Аналіз досліджень та публікацій. На ГЗК Криворізького залізничного регіону до теперішнього часу працюють переважно дробарки виробництва заводу «Уралмаш» типу КМД-2200. Їх застаріла конструкція передбачає лише встановлення кінцевих вимикачів для вимірювання рівня руди в дробарці. Звісно такі датчики не можуть використовуватися в якості зворотного зв'язку та слугують лише для запобігання перевантаження та завалу дробарки.

При розв'язанні такої задачі перед іноземними дослідниками виникає значно менше труднощів, через наявність вбудованих датчиків вимірювання рівня в дробарках та регульованих живильників [1-5].

Постановка завдання. Необхідно визначити задовільний спосіб вимірювання рівня завантаження дробарки дрібного дроблення, що не вимагає значних капіталовкладень та зміни конструкції дробарки і повністю використовує можливості сучасної промислової автоматики. Також визначити критерії, що більш чітко визначають бажаний рівень завантаження дробарки для оптимальної роботи тракту дроблення та запропонувати структуру САК.

Викладення матеріалу та результати. Якщо є конструктивна можливість встановлення, то для вимірювання рівня заповнення дробарки застосовують гамма-реле або радіоактивні та ультразвукові рівнеміри. Така схема захищає дробарку від аварійного переповнення, а також від можливих аварій при попаданні в дробарку негабаритних кусків. Однак вона не дозволяє регулювати продуктивність вузла живильник-дробарка в потрібному для технологічного потоку діапазоні. До недоліків цієї схеми слід також віднести те, що навіть встановлення декількох датчиків рівня по висоті приймальної камери дробарки для регулювання продуктивності не дає необхідного ефекту, оскільки залежно від розміру шматків вхідного матеріалу (крупного чи дрібного) при одному і тому ж рівні можна отримати різну продуктивність: при переробці дрібних шматків - підвищену, при переробці крупних - знижену.

Очевидно, що навіть при встановленні датчика завжди існує небезпека того, що він буде виведений з ладу вхідним потоком руди.

Також практика встановлення ультразвукового рівнеміра на дробильній фабриці ПАТ «Північний ГЗК» в дробарку, що початково не містить спеціального місця для нього, показала, що вхідний потік руди чи навіть окремі шматки порівняно великого розміру можуть призводити до хибних показів датчика, який буде реагувати на них миттєвими сплесками вихідного сигналу.

Отже саме можливість вимірювання рівня в дробарці є основою для створення працездатного контуру завантаження дробарки. Такий контур можливо також створити і для існуючих дробарок КДД. Але там рівень заповнення може бути виміряний лише непрямими методами.

Точність при цьому значною мірою залежить від міцності та в'язкості руди і при зміні вказаних параметрів може коливатися. Значить робота контура буде нестабільною і в окремих випадках може статися перевантаження дробарки матеріалом.

Більшість із вказаних недоліків враховано в способі визначення рівня завантаження дробарки, що був розроблений дослідниками ДВНЗ «Криворізький технічний університет» [11]. При цьому використовувався активний спектральний аналіз корпусу дробарки від пристроїв контролю вібрації, розташованих у верхній її частині. В якості інформаційного параметра, що характеризує заповнення дробарки, прийнятий рівень однієї зі складових спектра вібрації її корпусу.

Експериментальні дослідження проводилися в умовах дробильних фабрик Південного і Полтавського ГЗК. Загальний рівень вібрації в широкій смузі частот (від 10 Гц до 10 кГц) практично не дає інформації про рівень завантаження через вплив різних факторів (перешкоди від різних механізмів, зношування елементів механічного обладнання та ін.).

Характеристики знімалися при порожній дробарці і завантаженій на 75 %. Оцінка завантаження проводилася за рівнем заповнення.

З досліджень видно, що інформативними смугами частот для визначення рівня завантаження є смуги частот, які відповідають активним смуговим фільтрам з середніми частотами 1000 і 2000 Гц.

До недоліку даного способу слід віднести розташування датчиків на найбільш рухливій частині дробарки та відповідний значний вплив вібрації.

Також неоднозначність в покази вимірювання вносить зміна мас рухливих частин в залежності від броні дробарки, якості механічних з'єднань та інших фізичних параметрів.

Пропонується вдосконалити даний метод інформативним параметром величини активної потужності, що споживається двигуном дробарки.

Очевидно, що споживана потужність пропорційно залежить від кількості роботи, виконаної дробаркою, а отже від кількості рудної маси, яка переміщена конусом дробарки всередині корпусу.

Для оцінки рівня завантаження дробарки дрібного дроблення доцільно використати інтерполяцію у вигляді: $y = b_1 x + b_2 x^2$, де x - рівень активної потужності, y - рівень заповнення дробарки рудою, b_2, b_1 - коефіцієнти рівняння інтерполяції, що знаходяться для кожної окремої дробарки.

Для дробарок КДД-2200Т значення коефіцієнтів $b_1 \approx 2 \cdot 10^{-3}$, $b_2 \approx 35 \cdot 10^{-6}$, а відповідна залежність представлена на рис. 1.

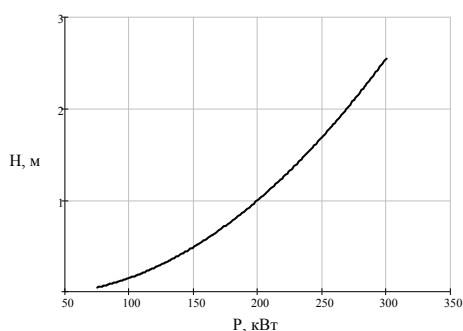


Рис. 1. Залежність рівня заповнення камери дроблення від споживаної потужності дробарки

Враховуючи конструктивну подібність дробарок КСД та КДД, можна зробити висновок, що застосування даного методу для визначення рівня заповнення дробарок КСД дасть подібний результат при вірному знаходженні коефіцієнтів рівняння інтерполяції.

Збільшенням завантаження дробильних агрегатів до розрахункових значень (забезпечуючи «завальну потужність» дробильного агрегату) можна істотно знизити вміст великих класів S , забезпечити мінімальний середній шматок у вихідному продукті, рис. 2 [7].

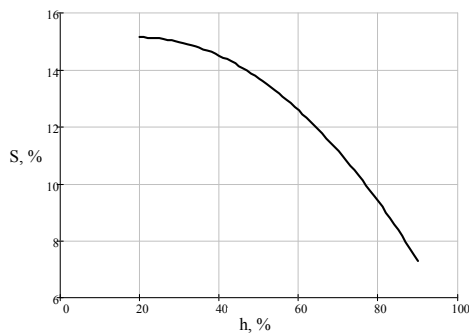


Рис. 2. Залежність вмісту крупних фракцій від рівня завантаження дробарки

Вказане зниження залежить від особливостей продукту, що дробиться, режиму роботи дробарки, умов її обслуговування. Так при розрахункових завантаженнях для дробарки КМД-2200 в умовах дробильної фабрики Полтавського ГЗК зниження діаметру середнього шматка на виході дробарки на величину $\Delta d_{сер}$ викликає зменшення вартості дробленого продукту на величину $\Delta C_{випр}$, порівняно з початковою величиною, тобто спостерігається збільшення прибутку, рис. 3.

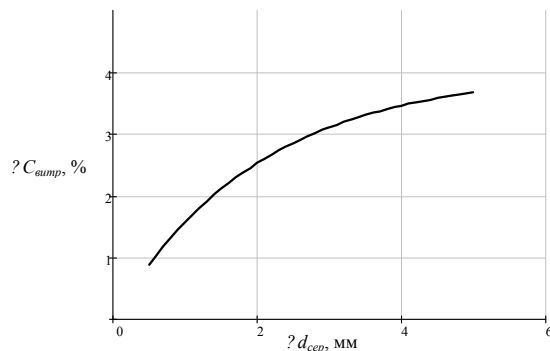


Рис. 3. Залежність зменшення вартості продукції дробарки при зменшенні діаметру середнього шматка на виході дробарки

Збільшення завантаження дробильного агрегату знижує величину питомої витрати футеровочної броні. З іншого боку, аналізуючи рівень «завальної» продуктивності при різних величинах розвантажувальної щілини, можна зробити висновок, що забезпечення такої продуктивності обумовлює використання приводу не при максимальних величинах ККД і $\cos(\varphi)$. Екстремальні їх значення спостерігаються при навантаженнях на 20-30% нижче розрахункових. Це зумовить додаткові витрати енергії на дроблення.

Відомо, що витрата змінних деталей обладнання дробарки визначається практично споживаною активною потужністю [9]. Отже, збільшення споживання енергії збільшує витрату змінних деталей, істотно впливаючи на довговічність дробильного агрегату, тобто форсування режимів дроблення за таким показником недоцільно.

Отже, з одного боку, показники по завантаженню дробарки (середній шматок дробленого продукту і витрата футеровочної броні) з її збільшенням зумовлюють збільшення прибутку. З іншого боку, збільшення завантаження змінює витрату змінних деталей, збільшуючи витрати на обслуговування, що знижує прибуток.

Залежності подібного роду формують при підсумовуванні залежності екстремального типу. Якщо врахувати екстремальну залежність споживаної електроенергії, то в загальному випадку для досліджуваних критеріїв точки мінімумів різних функціоналів не збігаються, тому важливо встановити відношення порядку в множині векторів, тобто вибрати схему компромісу [6]. Найбільш простим є отримання $\Delta C_{завант}$ у функції продуктивності (в результаті знаходження суми окремих компонентів) і оцінці по цій величині режимів функціонування дробильних агрегатів.

У цілому це визначить величину $\Delta C_{завант}$ у вигляді екстремальної залежності випадкового типу, залежності як від режимних параметрів, так і умов обслуговування.

Застосування пристроїв діагностування режимних параметрів роботи дробарок (розмір розвантажувальної щілини, гранулометричний склад дробленого продукту) дозволяє оперативно втрутитися у процес управління і компенсувати зміну гранулометричного складу кінцевого продукту відносно необхідної величини. Збільшення щілини за зміну на величину Δh викличе зміну середнього шматка на величину $\Delta d_{сер}$, що, у свою чергу, викличе зменшення вартості 1 т дробленого продукту (втрати) на величину ΔC_n .

На основі запропонованих методів, стандартних засобів автоматики та обчислювальної техніки на дробильній фабриці ГЗК стає можливим впровадження системи управління трактами середнього і дрібного дроблення, що дозволяє раціонально завантажувати дробильно-сортувальне обладнання, забезпечуючи мінімальні витрати на дроблення.

Виходячи з планової кошторисної продуктивності фабрики, планувальних фізико-механічних характеристик вхідного матеріалу і техніко-економічних показників, визначають в САУ раціональну продуктивність дробарки КДД, розмір її розвантажувальної щілини, величину завантаження за рівнем заповнення. Для забезпечення мінімальної собівартості процесу пе-

реробки живильником з регульованою продуктивністю здійснюється раціональний процес завантаження дробарок КСД. Виходячи з дійсного значення цієї величини при відомій в даний час продуктивності фабрики уточнюється і коректується в даній ситуації кількість введених в роботу трактів. Таким чином, раціональна величина завантажень дробарок КСД визначена в САУ програмно, виходячи з фізико-механічних характеристик партії вхідної руди; завдання на величину розвантажувальної щілини дробарки дрібного дроблення КДД визначено рівнем завантаження дробарок типу КДД-2200.

До описаних вище засобів автоматики необхідно додати датчики активної потужності, що дозволяють створити якісну протиаварійну систему тракту. Найбільшу загрозу безперервній роботі тракту становить перевантаження грохота та дробарки дрібного дроблення. Обидва явища супроводжуються різким зростанням потужності відповідного механізму. Що можна виявити за допомогою першої похідної та порівнянням її з деяким номінальним значенням. Якщо така ситуація трапляється - потрібно негайно припинити живлення тракту. Якщо потужність двигуна грохота не зменшується, то дієвим може бути запуск двигуна грохота у реверсному режимі. При відсутності змоги автоматичного керування протиаварійною системою, потрібно принаймні сповістити персонал відповідною сигналізацією. Структурну схему системи, побудованої за вищевказаними параметрами, наведено на рис. 4.

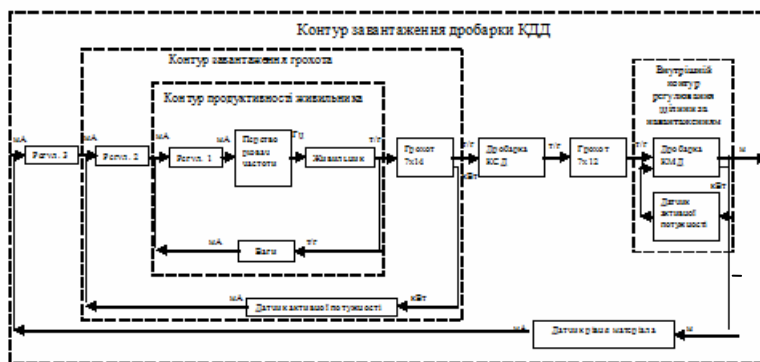


Рис. 4. Структурна схема САК

Тут зображено 4 замкнених контури. Контур стабілізації живлення забезпечує подачу відносно рівномірного грузопотоку на тракт. Контур завантаження грохота працює за релейною схемою. Тобто при досягненні визначеного рівня активної потужності грохота повинен іти сигнал з регулятора на обмеження навантаження.

Єдина функція контура – запобігання запресовки механізму. Внутрішній контур регулювання розвантажувальної щілини дробарки за навантаженням необхідний для оптимального пристосування режиму роботи дробарки під вхідний матеріал. Головним є контур завантаження дробарки КДД.

Описана система може бути реалізована на сучасному ПЛК середнього рівня. Він зручний для застосування в малих системах, в системах, які можуть бути швидко переконфігуровані, а також якщо умови виробничого процесу потребують надійної роботи, що є особливо важливо для безперервної роботи дробильної фабрики. У комбінації з іншими засобами автоматизації, ПЛК додатково дозволяє побудувати систему діагностики обладнання та сигналізації аварійних ситуацій. Всі підсистеми, побудовані на його базі, з використанням централізованого керування, можуть бути легко інтегровані в єдину глобальну систему керування дробильною фабрикою. Використання універсального протоколу TCP/IP є запорукою інтеграції контролера в усі типи засобів зв'язку. Максимальної кількості вхідних та вихідних сигналів, регуляторів та внутрішньої пам'яті цілком вистачає для побудови системи керування трактом.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В роботі виконано огляд існуючих систем вимірювання рівня завантаження дробарок. Найпоширенішими з них на ГЗК Кривбасу є гамма-реле або радіоактивні та ультразвукові рівнеміри. Наведено недоліки використання цих датчиків та особливості побудованих на них систем.

В якості найкращого способу визначення рівня завантаження дробарки прийнято спосіб визначення рівня на основі споживаної потужності двигуна дробарки. Споживана потужність пропорційно залежить від кількості роботи, виконаної дробаркою, а отже від кількості рудної маси, яка переміщена конусом дробарки всередині корпусу. Для оцінки рівня завантаження дробарки дрібного дроблення доцільно використати інтерполяцію у вигляді: $y = b_1x + b_2x^2$, де x – рівень активної потужності, y - рівень заповнення дробарки рудою, b_2 , b_1 - коефіцієнти рівняння інтерполяції, що знаходяться для кожної окремої дробарки. Для дробарок КДД-2200Т значення коефіцієнтів $b_1 \approx 2 \cdot 10^{-3}$, $b_2 \approx 35 \cdot 10^{-6}$.

Визначення раціонального рівня завантаження дробарок базується на основі наступних факторів: фізико-механічні параметри вхідного рудного потоку, питомі витрати футеровочної броні, витрати енергії на дроблення та інтегральна характеристика у вигляді собівартості продукту.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути моделювання роботи системи керування всього тракту III-IV стадій дроблення з використанням розробленої підсистеми визначення рівня заповнення дробарки.

Список літератури

1. **Johansson. A.** Modeling and simulation of cone crushers / **A. Johansson** // Automation in Mining, Mineral and Metal Processing. – 2009. - №1. – P.13 – 18.
2. **Hulthén E.** Algorithm for dynamic cone crusher control / **E. Hulthén, C. M. Evertsson** // Minerals Engineering. – 2009. – №22. – P. 296 – 303.
3. **Hulthén E.** Real-time algorithm for cone crusher control with two variables / **E. Hulthén, C. M. Evertsson** // Minerals Engineering. – 2011. – №24. – P. 987 – 994.
4. **Lindqvist. M.** Improved flow- and pressure model for cone crushers / **M. Lindqvist., C.M. Evertsson** // Minerals Engineering. – 2004. – №17. – P.1217 – 1225.
5. **Quist J.** Cone Crusher Modelling and Simulation / **J. Quist.** – Goteborg, 2012. – 68.
- 6 7*. АСУ технологическими процессами / **Б.И. Салыга, В.И. Салыга, Н.М. Кораблев, О.Г. Руденко.** – Харьков: Высш. школа, 1976.– 180 с.
7. **Афанасьев Г.Д.** Исследование конусных дробилок как объекта автоматизации и обоснование принципов автоматического регулирования их загрузки: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / **Г.Д. Афанасьев.** – Орджоникидзе, 1965. — 19 с.
8. **Гринман. И.Г.** Контроль и регулирование процессов дробления и грохочения руд / **И.Г. Гринман, А.Б. Бекбаев.** – Алма-Ата: Наука, 1977. – 118 с.
9. **Клушанцев Б.В.** Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / **Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек.** – М.:Машиностроение. – 1990.– 320 с.
10. **Марюга А.Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогащительных фабрик: учебник для вузов / **А.Н. Марюга, Ю.Г. Качан, В.А. Бунько.** – М.: Недра, 1983. – 277 с.
11. **Назаренко В.М.** Критерии оптимальной работы дробилки мелкого дробления / **В.М. Назаренко, А.И. Савицкий, М.П. Тиханский, М.В. Назаренко** // Горный журнал. Известия ВУЗов. – 1995. – №2. – С.113 – 117.
12. **Персиц В.З.** Измерение и контроль технологических параметров на обогащительных фабриках / **В.З. Персиц.** – М.: Недра, 1989. – 191 с.

Рукопис подано до редакції 14.03.14

УДК 621.74: 669.131.7

А.С. АМЕЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
В.В. ВАСИЛЬЄВ, магістр, Т.В.ІЛЬЧЕНКО, В.С. ДВОРНИКОВ, магістранти
Криворізький національний університет

СУЧАСНИЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПІЇ ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ

У статті визначено сучасні методи контролю якості чавунних виливків. Зроблено висновки що до високої спроможності і точності проникнення ультразвукових хвиль в чавуні. Ультразвуковий контроль чавунних виливків є пріоритетним і підтверджена доцільність його широкого використання в практиці серійного виробництва виливків з чавуну при стабільній технології лиття великих партій.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Високоміцний чавун вигідно відрізняється від сталі хорошими ливарними властивостями (високою рідкоплинністю, малою схильністю до утворення гарячих тріщин, меншою усадкою і т.ін.), простотою процесу виплавки й меншою вартістю. Поряд з конструкційним чавуном застосовуються високоміцні чавуни зі спеціальними властивостями: жаростійкий і жароміцний, стійкий у різних агресивних середовищах, антифрикційний з низьким коефіцієнтом тертя та ін. З високоміцного чавуну виготовляються виливки широкого діапазону ваги. Властивості цього матеріалу досить різноманітні, так що він застосовується замість сірого чавуну для подовження терміну служби виливків, замість сталі з метою спрощення й здешевлення виробництва, зменшення витрат металу й