

увеличение скорости вращения сопровождается ростом центробежных сил, которые прижимают комок к борту тарели, препятствуя скатыванию его вниз.

В связи с этим, наряду с увеличением скорости вращения, увеличивают угол наклона чаши к горизонту. Длительная стабильная работа чашевого окомкователя характеризуется наличием в объеме чаши постоянной нагрузки, представляющей собой смесь гранул всех размеров. Увеличение влажности подаваемой шихты сопровождается переувлажнением постоянной загрузки, что приводит к увеличению ее угла естественного откоса. Это приводит к тому, что окатыши поднимаются выше обычного и, попадая в зону шихты, укрупняются выше заданных по технологии размеров. Для недопущения этого необходимо уменьшить скорость вращения тарели и увеличить угол ее наклона. Это приведет к уменьшению продолжительности пребывания окатышей в чаше гранулятора и позволит сократить заданный их размер и производительность окомкователя.

В процессе работы гранулятора возможны случаи, когда происходит уменьшение или увеличение крупности годных окатышей. Для эффективного ведения технологии обжига необходимо сохранение крупности годных окатышей на постоянном уровне, что требует постоянного вмешательства технологов в процесс получения сырых окатышей. Уменьшение размера гранул при постоянной нагрузке требует увеличения скорости вращения чаши гранулятора. Если это не обеспечивает увеличения их размера, то необходимо уменьшить угол наклона чаши и увеличить подачу воды в чашу гранулятора. Обычно для увеличения крупности окатышей достаточным является увеличение скорости вращения чаши гранулятора. Это обеспечивает поднятие окатышей на большую высоту и попадание их в зону загрузки шихты. Если этот технологический прием не помогает, то необходимо повысить влажность постоянной нагрузки и поддерживать ее на высоком уровне путем доувлажнения мелких окатышей.

Для уменьшения производительности чашевого гранулятора необходимо уменьшить шихтовую нагрузку. При повышенной влажности шихты возможно значительное увеличение размеров окатышей и выделение влаги на их поверхности. Для того, чтобы избежать этого, необходимо уменьшить скорость вращения чаши гранулятора.

Описанные технологические приемы управления процессом позволяют получить на чашевых окомкователях окатыши заданной крупности. Таким образом, процесс окомкования является нелинейным, экстремальным, зависимым от многих параметров. Одним из способов улучшения эффективности работы чашевого окомкователя является поддержание эффективного пятна распределения окатышей в чаше окомкователя. Для этого в качестве обратной связи в системе управления применить фото фиксацию пятна распределения окатышей. Крупность окатышей после вытеснения их из чаши окомкователя предлагается вычислять также используя фото фиксацию потока окатышей.

#### *Список литературы*

1. Юсфин Ю.С. Управление окускованием железнорудных материалов –М.: Metallurgia, 1990.
2. Вегман Е.Ф. Окомкование руд и концентратов –М.: Metallurgia, 1984.
3. Исаев, Е.А. Теория управления окомкователем сыпучих материалов –Сп-б.: ТНТ, 2004.
4. Маерчак Ш. Производство окатышей. –М.: Metallurgia, 1982.

Рукопись поступила в редакцию 19.02.13

УДК 621.926.3:621.31

О.Ю. МИХАЙЛЕНКО, ассистент, В.П. ЩОКІН, д-р техн. наук, проф.

ДВНЗ «Криворізький національний університет»,

П.Ю. ФЕДОРЕНКО, ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

### **АНАЛІЗ ВПЛИВУ ШИРИНИ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЩІЛИНИ НА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ КОНУСНОЇ ДРОБАРКИ**

Отримано передавальну функцію конусної дробарки по каналу «ширина розвантажувальної щілини - потужність, що споживає електропривод» шляхом статистичного аналізу даних пасивного експерименту.

**Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Загальновідомо [1-4], що в галузі виробництва значна енергоємність властива технологічним процесам рудозбагачувальних фабрик, які включають підготовку руди до збагачення шляхом багатостадійного дроб-

лення. У структурі грошових витрат на виробництво кінцевої сировини на дроблення приходить близько 10 % [4] від їх загального обсягу.

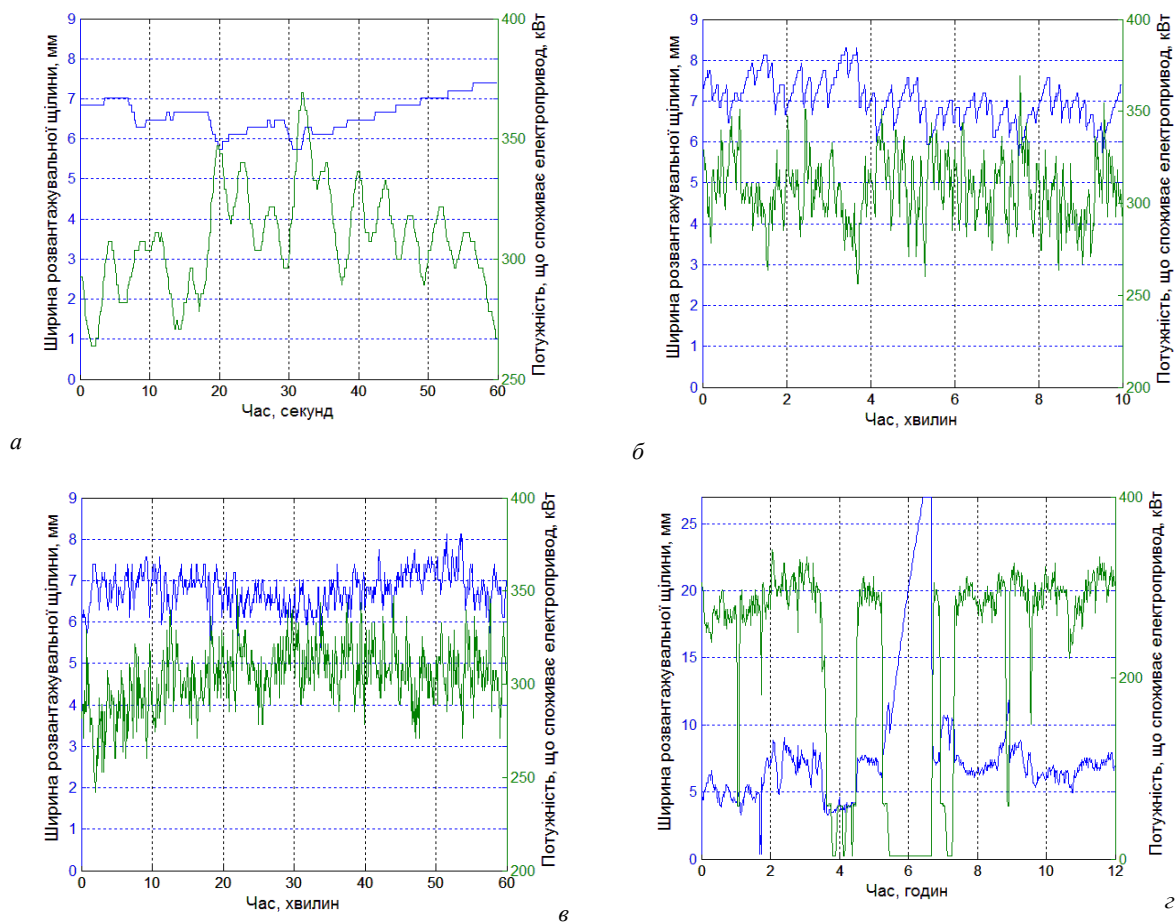
Тому необхідність підвищення енегоефективності зазначених технологічних процесів вимагає розробки нових і удосконалення існуючих способів керування. Проектування системи керування розпочинається з визначення математичного опису об'єкту, який відповідно до мети керування, відображає залежності між тими чи іншими вхідними і вихідними величинами.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Незважаючи на розширений аналіз динамічних властивостей конусної дробарки, як об'єкту керування, наведений в джерелах [1-3], в них недостатньо уваги приділено характеристикам технологічного агрегату по каналу «ширина розвантажувальної щілини - потужність, що споживає електропривод дробарки».

Складність технологічних процесів рудопідготовки, яка пояснюється їх багатомірністю і багатоз'язністю, неможливість зупинки подачі сировини або електроенергії для оцінки ефективності функціонування технологічного процесу обумовлюють недоцільність використання активних методів визначення динамічних характеристик шляхом здійснення детермінованих дій на вході об'єкту [5,6]. У результаті необхідно скористатися статистичними (пасивними або псевдопасивними) методами, в яких використовуються значення вхідних і вихідних величин виміряні у процесі нормальної експлуатації дробильних агрегатів.

**Постановка завдання.** Спираючись на дані, отримані під час функціонування конусної дробарки, визначити аналітичний вираз для передавальної функції, яка описує поведінку технологічного об'єкту по каналу «ширина розвантажувальної щілини - потужність, що споживає електропривод».

**Викладення матеріалу і результати.** Для конусної дробарки Sandvik Hydrocone 7800, яка входить до стадії дрібного дроблення дробильної фабрики №2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», було отримано часові реалізації ширини розвантажувальної щілини і потужності електроприводу технологічного агрегату виміряні у процесі дроблення руди (рис. 1).



**Рис. 1.** Експериментальні залежності зміни ширини розвантажувальної щілини і потужності електроприводу отримані в процесі нормальної експлуатації конусної дробарки для різних інтервалів часу: а - 60 с; б - 10 хв; в - 1 год; з - 12 год

Для ідентифікації об'єкту керування було використано лінійні авторегресійні моделі з зовнішнім входом (Autoregressive with external input або скорочено ARX) і з ковзним середнім (AutoRegressive-Moving Average with eXternal input - ARMAX) детально розглянуті в [7,8], структура яких описується наступними виразами

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-n_k) + \dots + b_{n_b} u(t-n_k-n_b+1) + e(t), \quad (1)$$

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) = b_1 u(t-n_k) + b_{n_b} u(t-n_k-n_b+1) + c_1 e(t-1) + \dots + c_{n_c} e(t-n_c) + e(t). \quad (2)$$

де  $y(t)$  - значення виходу у момент часу  $t$ ,  $n_a$  - кількість полюсів, які описуються матрицею виду  $N_y$  на  $N_y$ , що складається з додатних цілих чисел, в якій  $N_y$  - кількість виходів;  $n_b$  - кількість нулів плюс один (задається матрицею додатних чисел  $N_y$  на  $N_u$ , в якій  $N_u$  - кількість входів,  $n_c$  - кількість коефіцієнтів  $C$ ),  $n_k$  - величина запізнювання;  $y(t-1) \dots y(t-n_a)$  - попередні значення виходів від яких залежать поточні значення,  $u(t-n_k) \dots u(t-n_k-n_b+1)$  - попередні та затримані значення входу від яких залежать поточні значення виходу,  $e(t-1) \dots e(t-n_c)$  - значення перешкоди.

Дослідження динамічних властивостей здійснювалося за допомогою пакету System Identification Toolbox програмного комплексу MATLAB з використанням даних отриманих протягом 10 хв пасивного експерименту (рис. 1б). Часова реалізація була розділена на навчальну і тестуючу вибірки по 5 хв (300 с) кожна. Для знаходження оптимальної структури моделей виконано повний перебір комбінацій параметрів  $[n_a, n_b, n_k]$  для ARX і  $[n_a, n_b, n_c, n_k]$  для ARMAX у межах 1÷10. Вибір найбільш придатної ARX-моделі проводиться за допомогою графіку наведеного на рис. 2.

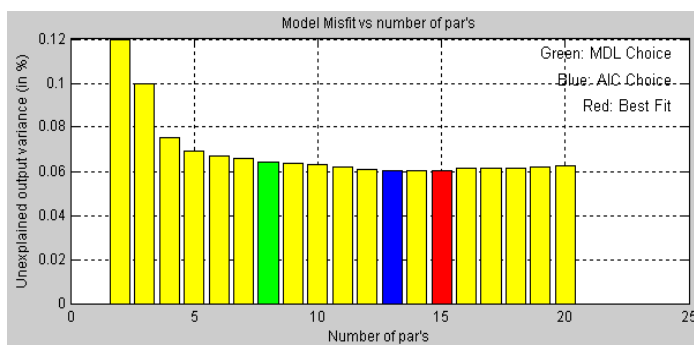


Рис. 2. Фрагмент вікна вибору структури ARX-моделі

На горизонтальній осі відкладаються дані про загальну кількість параметрів ( $n_a + n_b$ ). На вертикальній осі відображається відсоток даних, які не можуть бути описані моделлю – похибка прогнозування ARX-моделі для ряду параметрів. Похибка прогнозу визначається як сума квадратів

різниць між величиною виходу тестуючої вибірки і прогнозованим на один крок значенням.

При цьому критеріями адекватності можуть бути, наприклад, MDL критерій Ріссана, який на рис. 2 представлений зеленим прямокутником, теоретичний інформаційний AIC критерій Акайке (синій прямокутник) або величина (Best Fit), що відображає середньоквадратичне розузгодження між експериментальними і прогнозованими даними (червоний прямокутник) [6].

Порівняння виходу ARX-моделі з експериментальними даними (рис. 3) показує, що мінімальне середньоквадратичне розузгодження досягається при використанні такої комбінації параметрів  $n_a = 7, n_b = 8, n_k = 1$ .

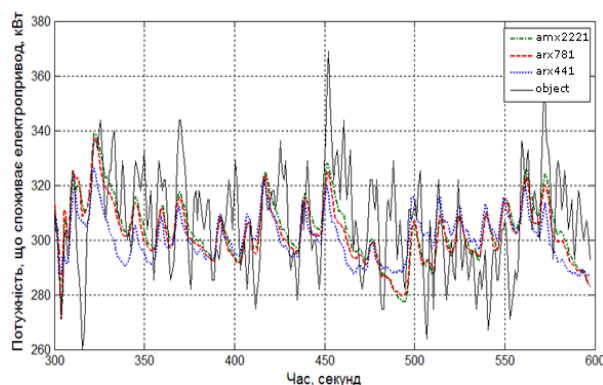


Рис. 3. Виміряні і отримані в результаті моделювання значення виходу об'єкту керування

Відсоток даних, які не описуються моделлю складає 0,060484. Однак для варіантів моделі, які забезпечують мінімізацію AIC та MDL критеріїв, похибка прогнозування збільшується не суттєво (0,060524% і 0,064443% відповідно).

Використання ARMAX-моделі з параметрами  $n_a = 2, n_b = 2, n_c = 2, n_k = 1$  порівняно з ARX-моделями продемонструвало більший

рівень узгодження з експериментальними даними, тому для подальшого аналізу доцільно використати більш просту модель.

За допомогою ARMAX-моделі засобами System Identification Toolbox отримуємо дискретну передавальну функцію, яка найбільш точно описує динамічну поведінку конусної дробарки по каналу «ширина розвантажувальної щілини – потужність, що споживає електропривод дробарки»

$$W_{b-p}(z) = \frac{-7,34 \cdot 10^{-5} z + 2,895 \cdot 10^{-5}}{z^2 - 1,996z + 0,9958}. \quad (3)$$

Для отримання безперервної передавальної функції необхідно перетворити дискретну модель  $\theta$ -формату (3) в безперервну. При цьому коваріаційна матриця параметрів переводиться за допомогою апроксимуючої формули Гауса і чисельного диференціювання.

Безперервна передавальна функція має вигляд:

$$W_{b-p}(s) = \frac{-0,0034s - 0,518}{s^2 + 0,2759s + 0,019}. \quad (4)$$

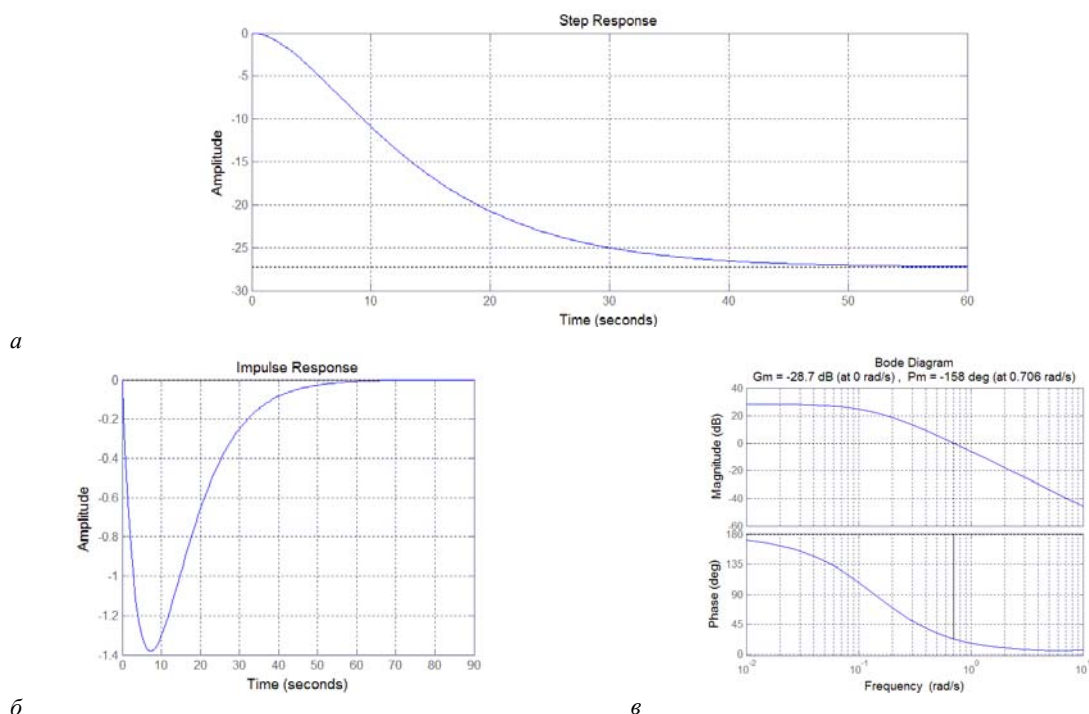
Перехідну і імпульсну функції, а також логарифмічну амплітудно-фазову частотну характеристику об'єкту керування наведено на рис. 4.

Частотна характеристика демонструє, що запас по фазі дорівнює  $-157,63$  градусів.

Для перевірки на керованість та спостережимість складемо матриці системи **A**, входу **B**, управління **C** і наскрізну матрицю **D**:

$$A = \begin{bmatrix} -0,2759 & -0,152 \\ 0,125 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$C = [-0,0017 \quad -2,072], \quad D = 0.$$



**Рис. 4.** Часові і частотні характеристики конусної дробарки, як об'єкту керування по каналу «ширина розвантажувальної щілини – потужність, що споживає електропривод»

Визначимо матриці керованості  $M_u$  і спостережності  $M_y$

$$M_u = \begin{bmatrix} 1 & -0,5518 \\ 0 & 0,25 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$M_y = \begin{bmatrix} -0,0017 & -2,072 \\ -0,2585 & 0,0003 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Отже для моделі конусної дробарки розмірність вектору стану, що визначається матрицями  $A$  і  $C$ , дорівнює двом, ранг матриць  $M_u$  і  $M_y$  також дорівнює двом. Таким чином об'єкт керування цілком керований і спостерігаємий.

**Висновки.** Досліджено динамічні властивості конусної дробарки по каналу «ширина розвантажувальної щілини - потужність, що споживає електропривод» шляхом статистичного аналізу даних отриманих у результаті пасивного експерименту в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». У результаті було встановлено, що процес дроблення має невелику інерційність, тому оцінку якості роботи агрегату при оптимізації технологічного процесу, і як наслідок формування керуючих впливів, які забезпечують раціональний режим роботи на інтервалі між обчисленнями цільової функції, можна виконувати на невеликих часових проміжках.

#### Список літератури

1. Автоматизация управления обогатительными фабриками ; под ред. **Б.Д. Кошарского, А.Я. Ситковского, А.В. Красноовца.** – М.: Недра, 1977. – 527 с.
2. **Нестеров Г.С.** Технологическая оптимизация обогатительных фабрик / **Г.С. Нестеров.** – М.: Недра, 1976. – 120с.
3. **Троп А.Е.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: [Учебн. для вузов] / **А.Е. Троп, В.З. Козин, Е.В. Прокофьев.** – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Недра, 1986. – 302с.
4. **Барский Л.А.** Системный анализ в обогащении полезных ископаемых / **Л.А. Барский, В.З. Козин.** – М.: Недра, 1978. – 486с.
5. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов: [Учебн. пособие для вузов] / **Г.М. Глишков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман, М.Р. Шапировский.** - [2-е изд., перераб. и доп.] - М.: Металлургия, 1986. – 352 с.
6. **Дехтяренко П.И.** Определение характеристик звеньев систем автоматического регулирования / **П.И. Дехтяренко, В.П. Коваленко.** – М.: Энергия, 1973. – 120 с.
7. **Дьяконов В.П.** MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / **В.П. Дьяконов, В.В. Круглов.** – СПб.: Питер, 2001. – 448 с. – ISBN 5-318-00359-1.
8. **Штовба С.Д.** Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / **С.Д. Штовба.** – 2007. – Режим доступа до книги: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 621.771.22:62-52

В.Ю. ХАРЛАМЕНКО, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКОСТЯМИ ОБТИСКНИХ ВАЛКІВ ГОЛОВНОЇ КЛІТИ НА БЛЮМІНГУ

Обґрунтовано доцільність застосування оптимальних стохастичних систем узгодженого керування процесом обтиснення металу на блюмінгу. Запропоновано підхід до узгодженого керування швидкостями верхнього та нижнього валків на базі нечіткого регулятора, вхідними змінними якої є швидкості та прискорення валків, пружні моменти в кінематичній лінії стану та швидкості їх зміни, що відновлюються спостерігачем стану Калмана-Бьюсі за вимірюваними швидкостями якорів та струмами в якорних обмотках приводних двигунів обтискних валків.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Процес обтиснення зливків металу на блюмінгу відбувається в обтискній клітці головного стану. Клітці складається із двох валків, що приводяться в рух електричним приводом на основі двигуна постійного струму. В процесі експлуатації обтискна клітці зазнає впливу цілого ряду факторів, які можна поділити на технологічні, механічні та електричні. До першої групи відносять фактори, що пов'язані з дефектами зливків: конусність, ліквация, пористість, тріщини, окалина. До механічних факторів можна віднести зазори в з'єднаннях механізмів лінії стану та різні моменти інерції верхнього та нижнього валків. До електричних факторів відносять різницю жорсткості характеристик верхнього та нижнього приводів, величину полоси пропускання частот, навмисне розузгодження швидкостей верхнього та нижнього валків, автоколивальність моментів внаслідок швидкого наростання струму [1]. Більшість цих факторів має випадковий характер і може призводити до збільшення моменту навантаження в процесі захоплення зливка валками, одностороннього та двостороннього буксування в клітці, ударів в зазорах кінематичної лінії приводу,