

Таким образом, для электропривода весовых воронок доменной печи с конвейерной подачей шихты на колошник наилучшим является векторное управление с ориентацией по потокоцеплению ротора. Его возможности позволяют организовать регулирование выходных координат электропривода в широком диапазоне, с высоким быстродействием и большой точностью.

Применение такой системы управления позволит реализовать формирование многокомпонентной порции шихты на доменном конвейере в любой последовательности разгрузки весовых воронок.

Список литературы

1. **Большаков В.И.** Теория и практика загрузки доменных печей / **В.И. Большаков.** – М.: Металлургия, 1990. – 255с.
2. **Праздников А. В.** Системы шихтоподачи в доменном производстве: монография [для инж.-техн. И науч. Работников] / **А. В. Праздников, Е. Я. Клоцман, В. И. Головки.** – М.: Металлургия, 1980. – 200 с.
3. **Клоцман Е.Я.** Системы шихтоподачи доменных печей / **Е.Я. Клоцман.** – Днепропетровск: Пороги, 2007. – 204 с
4. **Гиршман Ю.И., Головки В.И., Дмитриев Э.М. и др.** «Затвор бункера» Авторское свидетельство СССР № 918188. МПК В65D 90/58. Заявка № 2861017. Приоритет изобретения 02.01.1980. Опубликовано 07.04.1982. Бюллетень №13.
5. **О.Н.Кукушкин, Е.Я.Клоцман, В.И.Головки, Н.Г.Иванча, Э.М.Дмитриев** «Устройство для выпуска ферромагнитных сыпучих материалов из бункера». Авторское свидетельство СССР № 971885. МПК С21В7/20. Заявка № 2979044. Приоритет изобретения 08.07.1980. Опубликовано 07.11.1982. Бюллетень №41
6. **О.Н.Кукушкин, Е.Я.Клоцман, В.И.Головки, Н.Г.Иванча, Н.С.Антипов** «Способ подачи магнитных материалов на доменный конвейер». Авторское свидетельство СССР № 1027217. МПК С21В7/20. Заявка № 3360846. Приоритет изобретения 27.11.1981. Опубликовано 07.07.1983. Бюллетень №25
7. Освоение системы загрузки современной доменной печи / **В.И.Большаков, А.Ю.Зарембо, Н.Г. Иванча** и др.(Обзор.информ.). – М.:Ин-т Черметинформация, 1989. – 53с.
8. **О.Н.Кукушкин, Е.Я.Клоцман, Н.Г.Иванча и др.** «Способ подачи железорудных материалов на доменный конвейер». / Авторское свидетельство СССР № 1539207. МПК С21В7/20. Заявка № 4240722.. Опубликовано 30.01.1990. Бюллетень №4.
9. **Терехов В.М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ.вузов / **В.М. Терехов, О.И. Осипов;** под ред. **В.М. Терехова.** - 3-е изд., стер. - М.:Издательский центр "Академия", 2008. - 304с.
10. **Чиликин М. Г.** и др. Теория автоматизированного электропривода: Учебн. пособие для вузов / **Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С.** -М.: Энергия, 1979. - 616 с
11. **Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г.** Управление электроприводами: / Учебн. пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат., 1982. - 392с., ил.
12. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". - 2008. - 298с.
13. **Рудаков В. В.** и др. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / **В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дартау.** - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 136 с.: ил.
14. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: / Учебн. для студ. высш. учебн. зав. **Г.Г. Соколовский.** - М.: Академия, 2006. – 272 с.
15. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. **А.Э. Кравчик, М.М.Шлаф** – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.14

УДК 621.771.22: 62-52

В.С. МОРКУН, д-р техн. наук., проф., В.Ю. ХАРЛАМЕНКО, ассистент
Криворізький національний університет

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ УЗГОДЖЕНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКОСТЯМИ РОБОЧИХ ВАЛКІВ ОБТИСКНОЇ КЛІТИ БЛЮМІНГА З ВИЗНАЧЕННЯМ ПРОБУКСОВОК

У статті вирішено науково-практичне завдання підвищення ефективності керування електромеханічним обладнанням обтискної кліти блюмінга, що представлено пружними розподіленими електромеханічними системами за рахунок узгоджених керуючих впливів, сформованих з використанням алгоритму визначення пробуксовок робочих валків кліти. На основі проведеного аналізу характеру динамічного навантаження на електромеханічне обладнання обтискної кліти блюмінга розроблено алгоритм формування узгодженого керування швидкостями робочих валків з визначенням типу та інтенсивності пробуксовок та величини коректуючої дії на швидкість приводних двигунів. Визначено вектор найбільш інформативних параметрів, що повинні використовуватись при формуванні узгодженого керування робочими валками. Наведено результати моделювання запропонованого алгоритму в умовах односторонньої пробуксовки.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Конструктивно кінематичні лінії обтискової кліти виконані з різними довжинами валопроводів нижнього і верхнього робочих валків. Це приводить до виникнення динамічного розузгодження, що виникає в нестационарних режимах при наявності обертальних коливань розгалужених несиметричних систем з різними жорсткостями валопроводів [1]. Експериментальні дослідження в [2] показали, що в період захвату металу різниця швидкостей валків може досягати значних величин - до 18% від номінальної швидкості. Розузгодження швидкостей робочих валків є причиною нерівномірності розподілу динамічних навантажень між робочими валками, що призводить до зниження продуктивності обтискного стану.

При формуванні узгодженого керування швидкістю робочих валків основними параметрами швидкісного режиму є швидкості захвату і викиду, максимальна швидкість, прискорення та уповільнення. Від цих параметрів залежить цикл прокатки і продуктивність стану в цілому.

Аналіз досліджень та публікацій. Дослідженням способів підвищення ефективності керування блюмінгом без зниження продуктивності процесу прокатки займалися провідні вітчизняні та закордонні науковці, серед яких можна виділити Л.В. Акімова, Б.І. Кузнецова, О.С. Лехова, С.Л. Коцаря, В.А. Чигирину, Б.Н. Полякова, В.А. Воскресенського, Ф.К. Іванченко, П.І. Полухіна, М.А. Тилкіна, В.П. Полухіна, В.Б. Клепікова та ін.

Так, проф. Л.В. Акімов запропонував новий спосіб підвищення точності роботи двоконтурної системи регулювання швидкості електропривода обтискних валків з використанням спостерігачів стану. В працях Б.І. Кузнецова та його наукової школи розглянуто підхід до керування процесом обтиснення зливків на блюмінгу, що передбачає використання робастного регулятора.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є розробка методу узгодженого керування швидкостями робочих валків обтискної кліти блюмінга з визначенням їх пробуксовок. Для цього необхідно визначити найбільш інформативні параметри процесу обтиснення при визначенні пробуксовок та розробити алгоритм узгодженого керування швидкостями робочих валків із визначенням їх пробуксовок.

Викладення матеріалу та результати. Досвід експлуатації обтискних станів показує, що захоплення металу валками на низькій швидкості викликає перегрівання двигуна, при цьому через вимушені просадки швидкості збільшується тривалість циклу прокатки. Захоплення на високих швидкостях може бути зірване через зниження коефіцієнта тертя внаслідок збільшення швидкості. Для реверсивних станів швидкість захоплення ($\omega_3(t)$) та викиду ($\omega_6(t)$) береться в межах 10-45 об/хв [3,4,5]. Менші значення застосовуються в перших пропусках, а більші - в наступних. В останньому пропуску викид металу здійснюється на максимальній швидкості.

З умови мінімального нагрівання двигунів [5]

$$\sum_i M_{ci} \cdot t_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де M_{ci} - повний статичний момент в i -ому пропуску, t_i - час i -го пропуску, визначаються оптимальні швидкості обертання двигуна. Максимальна швидкість складає [5], об/хв.

$$\omega_{\max. onm} = \sqrt{\frac{2ab \cdot (60L/\pi D) + \omega_6^2 \cdot a + \omega_3^2 \cdot b}{a + b}}, \quad (2)$$

де L - довжина зливка після прокатки в даному пропуску, мм; D - діаметр валків, мм, a і b - величини прискорення і гальмування відповідно, (об/хв)/с.

З урахування обмеження (1) оптимальною максимальною швидкістю в пропуску є номінальна швидкість двигуна $\omega_{\max. опт.}$

Оптимальне значення швидкості виходу зливку із валків $\omega_{в. опт.}$ залежить від співвідношення між динамічним моментом гальмування $M_b(t)$ та статичним моментом $M_c(t)$ [5]

$$\omega_{6. onm} = \omega_{\max. onm} \cdot \left(1 - \frac{M_b(t)}{M_c(t)}\right), \quad M_b(t) = J_1 \cdot b, \quad (3)$$

де J_1 - момент інерції якоря.

Згідно [5], швидкість захвату металу валками становить

$$\omega_{3. onm} = \omega_{\max. onm} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{M_a(t)}{M_c(t)}\right), \quad M_a(t) = J_1 \cdot a, \quad (4)$$

де $M_a(t)$ - динамічний момент розгону.

З формули видно, що при умові мінімального нагріву двигуна, швидкість при захваті металу повинна бути найбільшою. Проте вона має бути обмежена практичними граничними умовами захвату.

Рекомендації по вибору допустимої швидкості $\omega_{\text{доп}}$ залежно від калібру та обчислених $\omega_{3,\text{опт}}$ та $\omega_{\text{в,опт}}$ наведено в табл. 1 [5].

Таблиця 1

Рекомендації по вибору $\omega_{\text{опт}}$

Калібр	Кантовка	$\omega_{3,\text{опт}}$, об/хв	$\omega_{\text{в,опт}}$, об/хв	$\omega_{\text{доп}}$, об/хв
1	+	$\omega_{\text{max,опт}}$	10÷15	50
	-	15÷20	10÷15	
2, 3	+	≤ 50	15÷30	60÷70
	-	20÷40	15÷30	
4, 5	-	$\omega_{\text{max,опт}}$	30÷50	80÷90

Дослідження режимів роботи обтискних станів показує, що, з метою скорочення навантаження на двигун, необхідно використовувати високі швидкості захвату та низькі швидкості викиду зливка із валків. Оптимальна максимальна швидкість в пропуску, при цьому, повинна бути в межах номінальних значень швидкості приводного двигуна.

При визначенні вектору ознак необхідно керуватися тим, що при великій кількості входів експерту важко описати причинно-наслідкові зв'язки у вигляді нечітких правил. Це обумовлено тим, що в оперативній пам'яті людини може одночасно зберігатися не більше п'яти ознак. Тому, при більшій кількості входних змінних необхідно їх ієрархічно класифікувати з урахуванням наведених вище рекомендацій. Зазвичай, виконання такої класифікації не становить труднощів для експерта, так як при прийнятті рішень людина ієрархічно враховує впливають фактори [6].

Основними інформативними параметрами при формуванні узгодженого керування є статичні моменти M_c , струми якорних обмоток $I_{\text{я}}$, пружні моменти M_{ij} , швидкості робочих валків $\omega_{2(3)}$ та похідні від цих параметрів.

З метою мінімізації надходження надлишкової інформації при формуванні узгодженого керування та визначення пробуксовок проведено дослідження інформативності наведених вище сигналів в різних режимах навантаження.

Аналіз характеру процесів в режимі пробуксовки показав, що визначення односторонньої пробуксовки доцільно використовувати різницю статичних моментів ΔM_c , так як їх динаміка описує характер навантаження, та пружні моменти. Використовувати для фіксації початку пробуксовки лише струм якоря недоцільно через значної інерційності приводних двигунів [2].

Як видно з графіків на рис. 1 для реєстрації двосторонньої пробуксовки доцільно використовувати падіння пружних моментів та їх перехід через нуль.

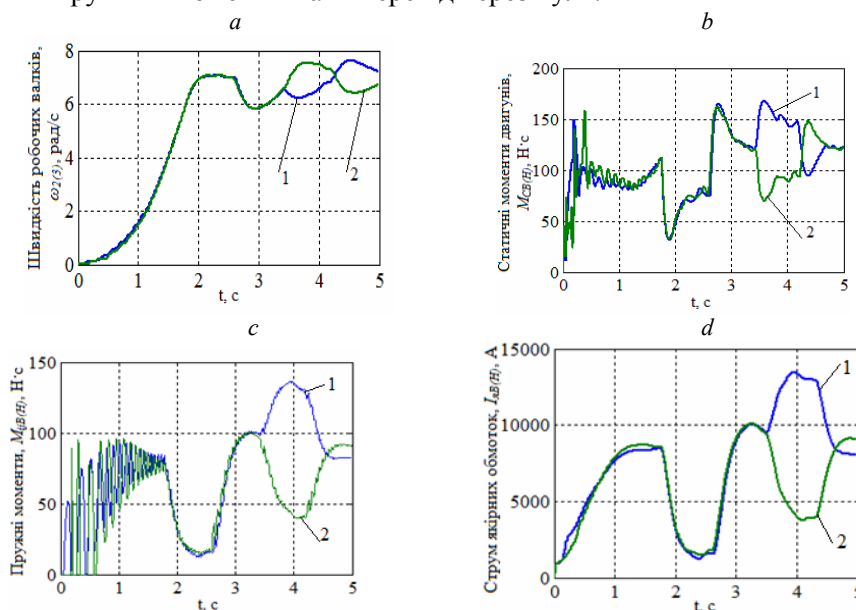


Рис. 1. Графіки швидкостей робочих валків *a*, статичних моментів *b*, пружних моментів *c*, струмів якорних обмоток *d* в режимі односторонньої пробуксовки

Також для визначення пробуксовки доцільно використати похідну сигналу з найбільшої дисперсією - M_{ij} . Отже, сформовано вектор інформативних сигналів за якими доцільно визначати пробуксовку $X=(\Delta M_{c}, M_{ij}, dM_{ij}/dt)$.

На рис. 1,2 наведено графіки $M_c, I_{я}, M_{ij}, \omega_{2(3)}$, в режимі односторонньої і двосторонньої пробуксовки відповідно

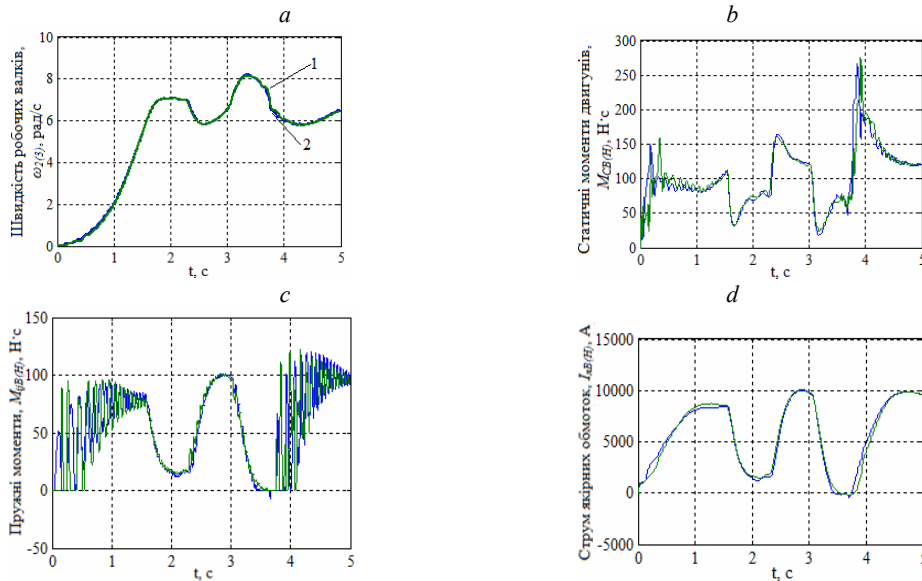


Рис. 2. Графіки швидкостей робочих валків *a*, статичних моментів *b*, пружних моментів *c*, струмів якірних обмоток *d* в режимі двосторонньої пробуксовки

На основі проведеного дослідження характеру зміни основних координат та графу станів динамічного навантаження в режимі пробуксовок для формування узгодженого керування з використанням нечіткого методу визначення пробуксовки розроблено алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 3.

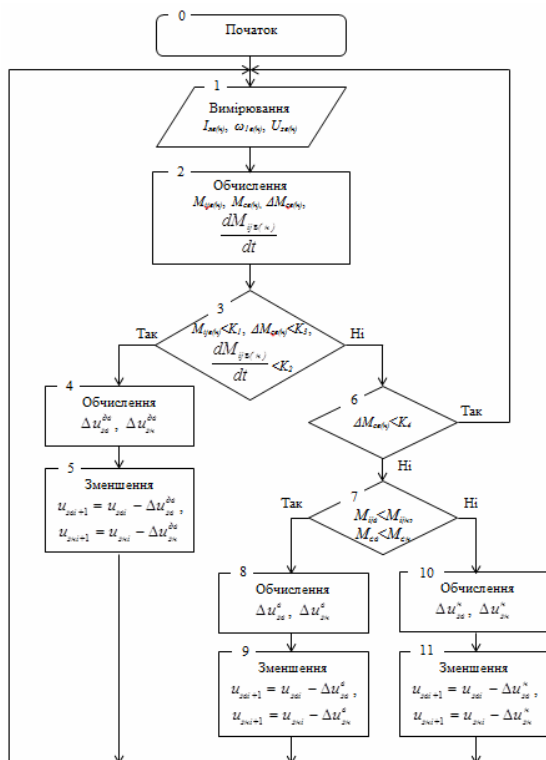


Рис. 3. Блок-схема алгоритму формування узгодженого керування робочими валками обтисної кліті

Він ґрунтується на визначенні типу та інтенсивності пробуксовки і визначенні величини коректуючої дії на сигнал завдання оператора.

Щоб ліквідувати пробуксовку або попередити розвиток односторонньої пробуксовки в двосторонню підсистема узгодженого керування видає сигнал на зниження швидкості обох валків.

Необхідність зниження швидкості небуксуючого валка, що в процесі пробуксовки сприймає додатковий момент, пов'язана з тим, що із зменшенням швидкості зростає граничний момент сил тертя на його контакт і знижується ймовірність виникнення небезпечного випадку двосторонньої пробуксовки.

Блоком датчиків вимірюються доступні до вимірювання координати струми якірних обмоток $I_{яв(н)}$, швидкості приводних двигунів $\omega_{1в(н)}$ та напруга на якорі $U_{яв(н)}$ (блок 1).

За допомогою адаптивного спостерігача стану відновлюється вектор стану, складові якого використовуються при визначенні початку пробуксовки - пружні моменти $M_{ijв(н)}$ та обчисленні швидкостей валків - статичні моменти $M_{св(н)}$ (блок 2). На цьому ж етапі обчислюються різниця статичних моментів $\Delta M_{св(н)}$ та швидкість її зміни пружних моментів $dM_{св(н)}/dt$.

Наступним етапом роботи алгоритму є визначення типу пробуксовки. Якщо реєструється падіння пружних моментів до визначеної уставки K_1 , похідних пружних моментів до K_2 , а різниця статичних моментів прямує до визначеної уставки K_3 , то має місце двостороння пробуксовка (блок 3). При цьому обчислюються значення коректуючі значення $\Delta u_{зв}^{дв}$ та $\Delta u_{зн}^{дв}$ (блок 4) та відбувається зменшення поточного сигналу завдання (блок 5). В алгоритмі індекс «дв» свідчить про роботу в режимі двостороннього буксування.

Якщо умова, що перевіряється в блоці 3 не виконується, то має місце одностороння пробуксовка. Вид двосторонньої пробуксовки визначається в блоці 7. При цьому перевіряється чи має місце хибна пробуксовка (блок 6) шляхом порівняння величини розузгодження струмів із заданою уставкою K_4 . Визначення хибних пробуксовок необхідне через те, що не кожне розузгодження викликане розвитком нестійких режимів прокатки Розузгодження швидкостей робочих валків в межах 3-5 % викликане технологією прокатки і необхідне, наприклад, для формування «лижі». Також незначні пробуксовки до 15% від M_c не розвиваються до небезпечних явищ і суттєво не впливають на динаміку стану.

Якщо фіксується розузгодження статичних моментів більше уставки K_4 і $M_{ij6} < M_{ijn}$, $M_{c6} < M_{cn}$, то має місце одностороння пробуксовка на верхньому валку. В іншому випадку - на нижньому. При цьому, залежно від буксує чого валка, визначаються коректуючі значення сигналу завдання $\Delta u_{зв}^в$, $\Delta u_{зн}^в$, $\Delta u_{зв}^н$, $\Delta u_{зн}^н$ (блоки 8, 10), де верхні індекси «в» і «н» - ознаки приналежності до режиму пробуксовки верхнього та нижнього валків та відбувається корекція поточного сигналу завдання на швидкість (блоки 9,11).

Для реалізації запропонованого алгоритму використано систему нечіткого логічного висновку типу Такагі-Сугено [6], для якої база правил побудована на основі формалізації дій персоналу в нестійких режимах функціонування обтискної кліті.

На рис. 4 зображено діаграму зміни сигналу завдання із задавача інтенсивності та опрацьований сигнал завдання блоком узгодженого керування. Для демонстрації реакції блоку узгодженого керування на початок пробуксовки на діаграму додано осцилограми статичних моментів по яким можна ідентифікувати початок та закінчення пробуксовки. Для узгодження масштабів зміни досліджуваних величин (пружні моменти, сигнал завдання та опрацьований сигнал завдання), всі сигнали подано у відносних величинах.

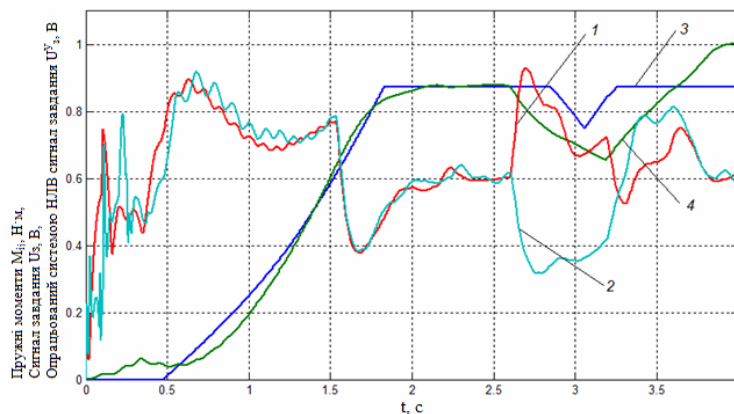


Рис. 4. Порівняння сигналу задавача інтенсивності та опрацьований сигнал завдання блоком узгодженого керування: 1, 2 – пружні моменти верхньої та нижньої кінематичної лінії відповідно; 3, 4 – сигнали завдання із існуючого задавача інтенсивності та сигнал опрацьований системою нечіткого логічного висновку ТС відповідно

Моделювання проводилось для випадку виникнення односторонньої пробуксовки при падінні моменту навантаження на верхньому валку в умовах $U_{зв}=6В$, $U_{зн}=6,4В$, $M_{нв}=25$ Нс·м, $M_{нн}=195$ Нс·м та в режимі усталеного обтиснення, в умовах $U_{зв}=8В$, $U_{зн}=8,7В$, $M_{нв}=110$ Нс·м, $M_{нн}=115$ Нс·м. На рис. 4 видно, до часу $t_{уст}=2,58$ с має місце усталений режим прокатки, а з 2,58с починається одностороння пробуксовка. При цьому при використанні запропонованого способу формування завдання для системи керування динамічними навантаженнями в обтискній кліті реакція на виникнення пробуксовки істотно швидша ніж при існуючому підході.

Отже, блок узгодженого керування фактично виконує роль датчика пробуксовки, виявляючи початок пробуксовки ще до розвитку її до небезпечних масштабів.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для формування узгодженого керування використано алгоритм, що базується на визначенні типу пробуксовки та величини коректуючої дії на сигнал завдання. При цьому визначено, що доцільніше використовувати факт падіння пружного моменту $M_{ijв(н)}$ в кінематичних лініях стану в комплексі з різницею статичних моментів $\Delta M_{св(н)}$ та похідною пружних моментів в кінематичній лінії стану dM_{ij}/dt , що дозволить визначити початок пробуксовки на ранній стадії до її розвитку у аварійний стан. Аналіз результатів використання запропонованого алгоритму показав зменшення часу реакції на пробуксовку, порівняно з існуючими методами, на 0,18 с.

Список літератури

1. **О.В. Слежановский.** Электропривод реверсивных станов горячей прокатки / **Слежановский О.В.** // М.: Металлургиздат, 1961. - 444 с.
2. **Коцарь С.Л., Поляков Б.Н., Макаров Ю.Д., Чичигин В.А.** Статистический анализ и математическое моделирование блюминга. – М.: Металлургия, 1974. – 280 с.
3. **Бычков В.П.** Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для / **В.П. Бычков.** – [2-е изд., перераб и доп.] – М.: Высшая школа, 1977. – 391 с.
4. **Афанасьев В.Д.** Автоматизированный электропривод в прокатном производстве: учебник для вузов / **Василий Данилович Афанасьев.** – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
5. **Тарновский И.Я., Пальмов Е.В., Тягунов В.А., Макаев С.В., Котельников, Л.В. Андреюк В.П.** Прокатка на блюминге / под ред. **И.Я. Тарновского.** – М.: Металлургиздат, 1963. – 390с.
6. **Штовба С. Д.** Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB // Exponenta Pro. – 2003. - № 2 (2). – С. 9–15.

Рукопис подано до редакції 15.04.14

УДК 622.73: 658.562

А.А. АЗАРЯН, д-р техн. наук, проф., Д.В. ШВЕЦ, аспирант,
Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ НА ЭТАПЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Выполнен критический анализ средств и методов контроля качества железорудного сырья на этапе подготовке руды к обогащению. Разработана функциональная схема автоматизированной системы управления процессом подготовки руды к обогащению, позволяющая стабилизировать массовую долю магнитного железа в сливе классификатора, объемное заполнение мельницы и плотность пульпы на сливе классификатора.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Контроль качества железорудного сырья является приоритетным направлением на сегодняшний день на горнообогатительных предприятиях Украины. Отсутствие комплексных систем стабилизации технологических параметров процесса подготовки руды к обогащению обуславливает колебание качества конечного продукта и большие потери полезного компонента в хвосты обогащения. Колебания качества концентрата происходят по причине изменений содержания полезного компонента в питании мельницы, недостаточной загрузки мельницы и колебания плотностных режимов в ней, нестабильности плотности пульпы на сливе классификатора. В связи с этим требуется создание системы автоматизации, которая будет контролировать и управлять основными контурами процесса измельчения.

Анализ исследований и публикаций. Проблема стабилизации качества минерального сырья начинала рассматриваться еще в советское время [1-3]. В нынешнее время в связи с переходом на рыночную экономику к качеству концентрата предъявляются гораздо более жесткие требования.

В проблемно-отраслевой лаборатории министерства промышленной политики Украины под руководством профессора А.А. Азаряна разрабатываются методы и средства для стабилизации массовой доли железа на конвейере при помощи магнитного и гамма-гамма методов [4-12]. Гамма-методы позволяют определять в горной породе содержание железа общего (FeO , Fe_2O_3), магнитный метод - железа магнитного (Fe_3O_4) [13].