

Список литературы

1. **Большаков В.И.** Теория и практика загрузки доменных печей / **В.И. Большаков.** – М.: Металлургия, 1990. – 255 с.
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. – 53 с.
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. - 304 с.
10. **Чиликин М. Г.** и др. Теория автоматизированного электропривода: Учеб.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: Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоиздат., 1982. - 392с.
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.
14. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник 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 20.03.15

УДК 681.513.6: 622.7: 622.34

В.В. ТРОНЬ, канд. техн. наук, доц., К. В. МАЄВСЬКИЙ, магістрант,
Криворізький національний університет

ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА

Наведено результати дослідження методів формування автоматизованого керування технологічним процесом подрібнення в умовах нестабільності характеристик залізорудної сировини та невизначеності параметрів технологічного процесу.

Проаналізовано моделі та методи керування процесом подрібнення руди, представленої технологічними різновидами для забезпечення заданої продуктивності технологічних агрегатів.

Розглянуто роботу класичних та адаптивних регуляторів у системі керування завантаженням млина першої стадії подрібнення.

Побудовано модель кульового млина у середовищі імітаційного комп'ютерного моделювання MATLAB/Simulink. Досліджено роботу моделі у системі керування з використанням класичного ПІД-регулятора. Для підвищення якості керування подрібненням досліджено роботу адаптивних регуляторів, що засновані на модернізованих методах Зіглера-Нікольса.

Представлено результати застосування у системі керування адаптивних регуляторів, заснованих на фільтрації диференційного компонента з використанням апроксимації Тастина, методу прямокутної та трапецієвидної дискретизації. У результаті проведених досліджень встановлено, що найкращим регулятором для процесів керування подрібненням технологічних різновидів залізорудної сировини з урахуванням нестационарності характеристик ре-

ального об'єкту керування є адаптивний регулятор Зіглера-Нікольса для процесів третього порядку з фільтрацією диференційного компонента з використанням апроксимації Тастина.

Використання даного регулятора забезпечує меншу похибку керування порівняно з класичним ПІД-регулятором та розглянутими адаптивними регуляторами, яка знаходиться у межах 0,01-0,81%, і забезпечує такі усереднені значення показників якості керування: перерегулювання - 16,7, тривалість перехідного процесу - 69,5 с.

Ключові слова: автоматизація, адаптивне керування, подрібнення руди, ПІД-регулятор.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Процес подрібнення є найбільш енергоємним серед процесів переробки залізорудної сировини на рудозбагачувальній фабриці. Завданням даного процесу є поступове скорочення крупності сировини до необхідного класу (-0,074, -0,05, 0,045 мм), залежно від стадії подрібнення.

Перша стадія подрібнення є визначною в питанні подальшої якості продукту, тому підвищення ефективності автоматизованого керування та модернізація обладнання, а саме: млина, живильників, трубопроводів є основним завданням для забезпечення необхідної якості й зниження собівартості концентрату [1].

Як узагальнений критерій ефективності процесу подрібнення зазвичай використовують кількість рудного матеріалу, необхідного класу крупності у зливі класифікатора, що працює у замкнутому циклі з млином.

Цей показник залежить від ряду факторів, які постійно змінюються, зокрема, характеристик сировини, режимних параметрів керування.

Кульовий млин потребує чіткого та налагодженого алгоритму завантаження сировини, що дає можливість ефективного використання, як самого млина, так і сировини, що перероблюється [2]. Одним із шляхів підвищення ефективності процесів керування подрібненням є застосування методів адаптивного керування.

Адаптивні системи керування пристосовують регулюючі впливи до зміни параметрів системи та керують об'єктом враховуючи нові умови та зміну параметрів, наприклад, мінливість характеристик залізорудної сировини, що подається на подрібнення до кульового млина [3].

Досвід застосування адаптивних систем показує доцільність їх впровадження при керуванні технологічними процесами гірничорудних підприємств, що дозволяє підвищити точність та стійкість систем керування і, як наслідок, покращити показники якості технологічних процесів переробки залізорудної сировини [4-8].

Аналіз досліджень та публікацій. Методи оперативного контролю якості залізорудної сировини на різних етапах її переробки з використанням сучасних методів досліджувались у працях [9,10].

Під час процесу видобутку залізорудної сировини виробляється неоднорідна руда, що приводить до нестійкості характеристик мінеральної сировини, яка надходить на збагачення [11,4,7-8].

Завдання формування автоматизованого керування з урахуванням факторів енергоефективності, екологічної безпеки та економічної продуктивності гірничозбагачувального комбінату розглянуто у роботах [4-8,12-14].

Для ефективної роботи кульових млинів необхідно дотримуватися певного співвідношення між величиною куль і шматків руди, що завантажуються до робочої ємності млина [13,14].

Для кульового млина керуючими впливами є продуктивність по вихідній руді, витрати води.

Впливами збурення є зміни характеристик сировини (твердість, подрібнюваність, гранулометричний склад тощо), витрата піску (т/г), стан тіл, що подрібнюють, футерування.

Вихідними показниками процесу подрібнення є: щільність пульпи, склад готового класу (% класу -0,074 мм), продуктивність по готовому класу в зливі млина, потужність, яку споживає електродвигун [14-15].

У роботі [4] технологічний процес збагачення магнетитових кварцитів запропоновано розглядати як багатовимірну дискретну систему у матрично-векторній формі.

Для ідентифікації технологічних процесів (ТП) збагачення як багатозв'язних нелінійних динамічних об'єктів запропоновано використовувати багатовимірні аналоги нейромережевих предикторів: NNARX, NNARXMAX, NNOE.

Для автоматизованого керування локальними процесами, переважну більшість яких складають схеми типу SISO (один вхід - один вихід), використовуються інверсні динамічні моделі.

У основу запропонованого у праці [6] методу синтезу адаптивних ARMA-систем керування технологічними процесами покладено застосування структури різницевої моделі $ADL(p,q)$.

Адаптивні властивості таких моделей отримано за рахунок застосування розробленого методу нейроморфного настроювання вагових коефіцієнтів $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ у дискретній адаптивній структурі ARMABiS, яка розроблена на базі визначення еталонного значення $y^*(t)$ вихідної координати об'єкта керування $y(t)$ у дискретній MA(q)-моделі з розподіленим лагом порядку (0,q).

У роботі [8] запропоновано гібридну математичну модель замкнутого циклу подрібнення руди, аналітична частина якої описує рудопотоки і змінення гранулометричного складу перероблюваної руди в технологічних агрегатах, а для формування функцій розділення і подрібнення використовуються нечіткі правила Такагі-Сугено.

Відзначається, що основним завданням керування роботою збагачувального обладнання, зокрема, гідроциклону, є забезпечення такого режиму функціонування, який гарантує необхідний для ефективного розкриття вкраплень корисного компонента гранулометричний склад рудного матеріалу.

Отже, застосування адаптивних систем зі складними алгоритмами функціонування у процесі керування процесами переробки залізорудної сировини забезпечується високим рівнем розвитку сучасних засобів обчислювальної техніки.

Разом з тим, такий підхід не виключає складнощів забезпечення достатньо якісного керування показниками ефективності технологічних процесів та необхідності забезпечення стабільності роботи системи при змінненні її параметрів.

Тому, доцільно розглянути методи адаптивного керування, що використовують оперативні дані про внутрішній стан об'єкта і апріорну інформацію про закономірності подрібнення у поєднанні з класичними методами регулювання.

Постановка завдання. Дослідити роботу адаптивних регуляторів у системі керування завантаженням кульового млина в умовах дії на систему параметричних та координатних збурень.

Викладення матеріалу та результати. Система автоматичного керування (САК) млином працює у відповідності до принципу керування за відхиленням дійсного значення вихідної величини об'єкта від заданого значення.

Як об'єкт дослідження використано математичну модель процесу подрібнення в кульовому млині, представлену у роботі [14].

Залежність між виходом заданого класу крупності та витратою руди в млині нелінійні. На схемі (рис. 1) позначено: $X_{шм}$ - кількість класу 0.074 мм у подрібненні руді.

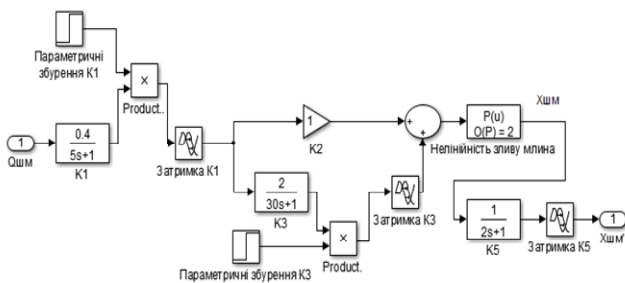
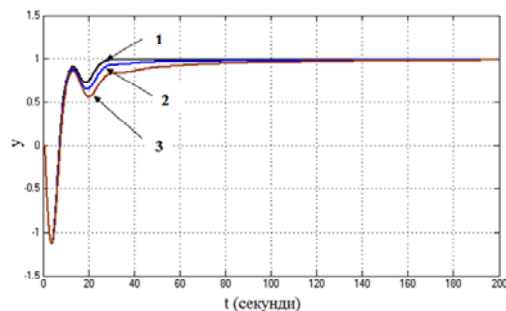


Рис. 1. Модель кульового млина в Simulink

параметричних та координатних збуреннях.



ближаються до максимальних, для яких він і був налагоджений. При дії на систему випадкових параметричних збурень система виходить з рівноваги.

Сигналом завдання є кількість необхідного класу у пульпі на виході млина. Поширеним способом керування кульовим млином на підприємствах зі збагачення залізорудної сировини є застосування пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів.

На рис. 2. наведено вигляд перехідного процесу моделі подрібнення залізорудної сировини із застосуванням ПІД-регулятора в контурі управління при

Рис. 2. Регулювання роботи САК процесу подрібнення ПІД-регулятором зі зміною коефіцієнтів K1 та K3, відповідно: 1-максимальні, 2-середні, 3-мінімальні значення

Параметричні збурення реалізовано у вигляді зміни коефіцієнту в передаточних функціях K1 та K3 (див. рис. 1).

Значення змінювались в межах, зазначених у праці [14].

ПІД-регулятор має кращі показники регулювання у випадку, коли значення коефіцієнтів K1 та K3 на-

На рис. 1 за допомогою блоку «Параметричні збурення К1» та «Параметричні збурення К3» реалізовано можливість імітування випадкових змін параметрів у межах $\pm 10\%$ від номінального значення, а саме зміну коефіцієнтів «К1» та «К3» відповідних передаточних функцій.

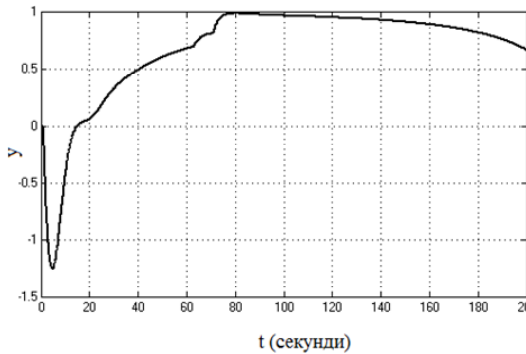


Рис. 3. Перехідний процес моделі подрібнення із випадковою зміною коефіцієнтів К1 та К3

Аналіз роботи ПІД-регулятора (рис. 3) показує доцільність використання в контурі управління адаптивного регулятора, який дозволив би у ході технологічного процесу оцінювати змінні параметри та за результатами оцінок коригувати параметри регулятора для того, щоб у всіх можливих режимах роботи млина гарантовано забезпечувати стійке та якісне регулювання.

Тому було розглянуто систему керування з застосуванням декількох різновидів адаптивних регуляторів, запропонованих у праці [16].

Математичний опис адаптивних регуляторів має наступну форму.

Контролер Зіглера-Нікольса (ЗН) для процесів 3 порядку з фільтрацією диференційного компонента (ФДК) з використанням апроксимації Тастина.

Закон керування [16]

$$u_k = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + q_2 e_{k-2} - p_1 u_{k-1} - p_2 u_{k-2},$$

де e_k - похибка керування ($e_k = w_k - y_k$). Параметри регулятора розраховуються за формулами

$$q_0 = K_p \frac{1 + 2(c_f + c_d) + \frac{c_i}{2}(1 + 2c_f)}{1 + 2c_f}; \quad q_1 = K_p \frac{\frac{c_i}{2} - 4(c_f + c_d)}{1 + 2c_f}; \quad q_2 = K_p \frac{c_f(2 - c_i) + 2c_d + \frac{c_i}{2} - 1}{1 + 2c_f}; \quad (1)$$

$$p_1 = \frac{-4c_f}{1 + 2c_f}; \quad p_2 = \frac{2c_f - 1}{1 + 2c_f}; \quad c_f = \frac{T_f}{T_o}; \quad c_i = \frac{T_o}{T_i}; \quad c_d = \frac{T_D}{T_o}; \quad (2)$$

$$K_p = 0,6K_{pu}; \quad T_i = 0,5T_u; \quad T_D = 0,125T_u; \quad T_f = \frac{T_D}{\alpha}; \quad (3)$$

де K_{pu} - кінцеве підсилення, T_u - кінцева частота, T_o - період опитування регулятора, T_D - постійна часу диференціювання, T_i - постійна часу інтегрування, α - коефіцієнт фільтрації для вихідного сигналу (приймається в межах $3 < \alpha < 20$). Коефіцієнти c_f, c_i, c_d - введено для зручності зображення формул.

Закон керування ПІД-регулятора ЗН для процесів 2 порядку, що заснований на методі прямої прямокутної дискретизації (ППД) має такий вигляд [16]

$$u_k = K_p \left[e_k - e_{k-1} + \frac{T_o}{T_i} e_{k-1} + \frac{T_D}{T_o} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \right] + u_{k-1}, \quad (4)$$

де e_k - похибка керування ($e_k = w_k - y_k$). Цей закон керування може бути трансформований до форми зворотного зв'язку

$$u_k = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + q_2 e_{k-2} + u_{k-1} \quad (5)$$

Параметри регулятора розраховуються за формулами

$$q_0 = K_p \left(1 + \frac{T_D}{T_o} \right); \quad q_1 = -K_p \left(1 - \frac{T_o}{T_i} + 2 \frac{T_D}{T_o} \right); \quad q_2 = K_p \frac{T_D}{T_o}; \quad (6)$$

$$K_p = 0,6K_{pu}; \quad T_i = 0,5T_u; \quad T_D = 0,125T_u, \quad (7)$$

де K_{pu} - кінцеве підсилення, T_u - кінцева частота, T_o - період опитування регулятора, T_D - постійна часу диференціювання, T_i - постійна часу інтегрування.

Закон керування ПІ-регулятора ЗН для процесів 2 порядку на основі методу *трапецевидної* дискретизації (ТД) визначається залежністю [16]

$$u_k = K_p \left[e_k - e_{k-1} + \frac{T_o}{T_I} \cdot \frac{e_k - e_{k-1}}{2} \right] + u_{k-1}, \quad (8)$$

де e_k - похибка керування ($e_k = w_k - y_k$). Цей закон керування може бути трансформований до форми зворотного зв'язку

$$u_k = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + u_{k-1}. \quad (9)$$

Параметри регулятора розраховуються за формулами

$$q_0 = K_p \left(1 + \frac{T_o}{2T_I} \right); q_1 = -K_p \left(1 - \frac{T_o}{2T_I} \right); K_p = 0.6K_{Pu}; T_I = 0.5T_u, \quad (10)$$

де K_{Pu} - кінцеве підсилення, T_u - кінцева частота, T_o - період опитування регулятора, T_I - постійна часу інтегрування.

Перехідні процеси адаптивних регуляторів, що були дослідженні під час керування роботи моделі кульового млина відображені на одному графіку та відображено на рис.4.

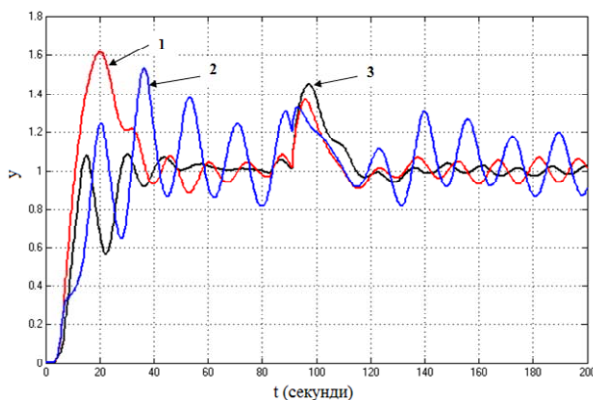


Рис. 4. Приклад роботи регуляторів зі зміною параметрів системи під час роботи: 1 - ЗНФДК 3-го порядку; 2 - ЗНППД 2-го порядку; 3 - ЗНТД 2-го порядку

Адаптивні регулятори Зіглера-Нікольса для процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента з використанням апроксимації Тастина, ПІД-регулятор Зіглера-Нікольса для процесів 2 порядку, що заснований на методі прямої прямокутної дискретизації, ПІ-регулятор Зіглера-Нікольса для процесів 2 порядку на основі методу **трапецеїдальної** дискретизації було використано для керування процесом подрібнення технологічних різновидів залізорудної сировини в кульовому млині.

Найбільш показові результати моделювання наведено у табл. 1.

Найбільш показові результати моделювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння показників якості керування з використанням адаптивних регуляторів

Тип регулятора	Значення коефіцієнтів	Час перехідного процесу	Перерегулювання	Усталене значення
ЗНФДК 3-го порядку	K1-0,35; K3-1;	69,5	16,7	1,004
ЗНФДК 3-го порядку	K1-0,35; K3-2;	91,1	29,8	1,005
ЗНППД 2-го порядку	K1-0,35; K3-1;	85,0	53,7	1,006
ЗНППД 2-го порядку	K1-0,35; K3-2;	146,0	70,4	1,006
ЗНТД 2-го порядку	K1-0,35; K3-1;	66,9	48,4	0,9966
ЗНТД 2-го порядку	K1-0,4; K3-1;	51,8	74,1	0,8872

У результаті проведених досліджень встановлено, що найкращим регулятором для системи автоматичного керування процесом подрібнення залізорудної сировини є адаптивний регулятор Зіглера-Нікольса для процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента з використанням апроксимації Тастина.

Даний регулятор забезпечує такі результати: перерегулювання - 16,7, час встановлення перехідного процесу - 69,5 с (рис. 5).

Тому застосування цього регулятора є виправданим з точки зору забезпечення частки необхідного класу крупності у зливі млина.

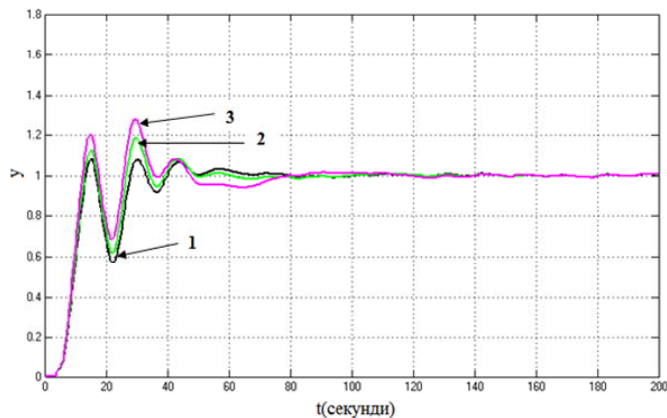


Рис. 5. Перехідний процес контролера Зіглера-Нікольса для процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента з використанням апроксимації Тастина при різних значеннях коефіцієнтів $K1$ та $K3$: 1 – мінімальних; 2 – середніх; 3 – максимальних

Висновки та напрямки подальших досліджень. Для системи автоматичного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах дії на систему параметричних та координатних збурень найкращим виявився регулятор Зіглера-Нікольса для

процесів 3 порядку з фільтрацією D -компонента на основі апроксимації Тастина.

Він забезпечує меншу похибку керування порівняно з класичним ПІД-регулятором, яка становить 0,01-0,81%.

Напрямом подальших досліджень є вдосконалення процесів керування подрібненням залізородної сировини з урахуванням багатомірності реальних об'єктів керування.

Подальші дослідження доцільно здійснювати у напрямку побудови багатоканальних адаптивних систем керування технологічними процесами переробки залізородної сировини в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів.

Список літератури

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980. - 415 с.
2. Morkun V., Tron V. Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No6, pp. 4-7: http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/1-MorkunTron.pdf.
3. Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И., Пилов П.И., Кириченко В.В. Измельчение. Энергетика и технология. Учебное пособие для ВУЗов. - М.: Изд. дом "Руда и металлы", 2007. - 296с.
4. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Купін Андрій Іванович. – Кривий Ріг, 2009. – 463 с.
5. Xiaoling Huang. Production Process Management System for Production Indices Optimization of Mineral Processing / Xiaoling Huang, Yangang Chu, Yi Hu, Tianyou Chai // IFAC – Research Center of Automation, Northeastern University, Shenyang, P.R.China 110004. – 2005.
6. Щокін В. П. Адаптивне керування агломераційним комплексом на основі авторегресійних структур з регуляризацією : дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Щокін Вадим Петрович. – Кривий Ріг, 2012. – 443 с.
7. Моркун Н.В. Адаптивна система управління процесом магнітної сепарації залізних руд на базі засобів ультразвукового контролю / Н.В. Моркун: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг, 2005. – 24 с.
8. Подгородецкий Н.С. Энергоэффективное адаптивное управление замкнутым циклом измельчения руды на базе гибридной нечёткой модели / Н.С. Подгородецкий: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг, 2011. – 24 с.
9. Morkun V. S., Morkun N. V, Pikilnyak A.V. Ultrasonic facilities for the ground materials characteristics control / Morkun V. S., Morkun N. V, Pikilnyak A.V // Metallurgical and mining industry. – Dnipropetrovsk. – 2014. - No. 2. Режим доступу: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/a6.pdf>. – P. 31 – 35.
10. Morkun V., Morkun N., Pikilnyak A. The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp, Ultrasonics, No 56C, (2015), p.p. 340-343.
11. Morkun V., Tron V. Ecological and economic optimization of iron ore processing automated control, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No5, p.p. 8-11. – Available online: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/2-Morkun-Tr.pdf>.
12. Morkun V., Tron V. Ore preparation multi-criteria energy-efficient automated control with considering the ecological and economic factors, Metallurgical and Mining Industry, 2014, No5, p.p. 4-7: <http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/1-MorkunTron.pdf>.
13. Линч А.Д. Циклы дробления и измельчения: моделирование, оптимизация, проектирование и управление - М., Недра, 1981. 343 с.
14. Нестеров Г.С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик - М: Недра, 1976. -120 с.
15. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. Учебное пособие для студентов вузов М. Недра, 1983г. 277 с.
16. Self-Tuning Controllers Simulink Library [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <http://www.utb.cz/stctool/>. – Назва з екрана.