

Як видно з наведених результатів комп'ютерного моделювання базової та розробленої САК (рис. 4-6) а також з результатів подальшої їх статистичної обробки (табл. 1), запропонована САК на відміну від базової не допускає керувань, за яких спостерігалися б понаднормові значення усталеного відхилення напруги в РЕМ ($\pm 5\%$).

При цьому значення двох інших параметрів режиму - коефіцієнту несиметрії напруг по зворотній послідовності K_2 та коефіцієнту реактивної потужності $\text{tg}\varphi$ як у випадку моделювання базової САК, так і у випадку моделювання запропонованої САК не перевищують нормально допустимого для K_2 ($K_{2\text{нд}}=2\%$) та заданого для $\text{tg}\varphi$ ($\text{tg}\varphi_{\text{зад}}=0,15$) значень.

Висновки та напрямок подальших досліджень. У результаті проведених наукових досліджень можна зробити наступні висновки:

Задачу керування симетрично-компенсуючим пристроєм, що працює в РЕМ номінальною напругою 6-10 кВ найдоцільніше розглядати як задачу багатокритеріальної оптимізації.

Для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації одночасного зниження рівня споживання реактивної потужності та рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг найдоцільніше застосовувати метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв.

Результати комп'ютерного моделювання розроблених САК, в основу роботи яких покладено знайдені розв'язки задачі багатокритеріальної оптимізації підтвердили перевагу запропонованої САК над базовою.

Так, при практично рівних значеннях рівня компенсації реактивної потужності та коефіцієнту несиметрії напруг, інтегральна ймовірність потрапляння в нормально допустимі межі усталеного відхилення напруг для розробленої моделі виявилась на 96 % більшою, ніж для базової моделі.

Список літератури

1. Червінська Т.М. Математична модель керування реактивною потужністю в електричних мережах з несиметричною напругою / Л. Б. Терешкевич, Т.М. Червінська // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – №3(62) Частина 1. – С. 161 – 164.

2. Червінська Т.М. Математичні моделі керування реактивною потужністю та несиметрією напруги в електричній мережі / Терешкевич Л. Б., Червінська Т.М., Кузьменко М.В. // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Выпуск 32. – 2010.

3. Червінська Т.М. Керування реактивною потужністю в умовах несиметрії напруги мережі / Л.Б. Терешкевич, Т.М. Червінська // Промелектро. – 2008. – №5. – С. 16–20.

4. Зінзура В.В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 25.Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012. С. 350-360.

5. Плешков П. Г. Теоретичні засади оптимального керування пристроєм РПН силового трансформатора за векторним критерієм. / П. Г. Плешков, В.В. Зінзура, М. В. Кубкін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. – Вип. 24.Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 164-173.

Рукопис подано до редакції 16.04.16

УДК 621.926: 524.16

Є.К. БАБЕЦЬ, канд. техн. наук, проф., В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
Т.В. ХОРОЛЬСЬКА, НДГРІ ДВНЗ «Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОМЛИННИХ НАВАНТАЖЕНЬ КУЛЬОВИХ МЛИНІВ БАГАТОСТАДІЙНОГО ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ

Використано математичний апарат теорії катастроф для ідентифікації складного динамічного процесу здріблення, який дозволяє враховувати варіації нелінійних збурень текстурних характеристик сирової руди, її міцності і змінних режимів роботи устаткування та запропоновано систему керування завантаженням руди в кульові млини першої, другої, третьої стадії з врахуванням геометрії внутрішньомлинного навантаження, оцінки в часі аварійних ситуацій. Розроблено метод ідентифікації геометрії внутрішньомлинного завантаження кульових млинів шляхом діагностики траєкторії об'ємного заповнення складного технологічного об'єкту, та визначенні параметри оптимального внутрішньомлинного завантаження з мінімізацією часу знаходження матеріалу в технологічному агрегаті, па-

раметри якого змінюються в часі. Доведено, що максимізації продуктивності кульових млинів шляхом оперативного моніторингу геометрії внутрішньомлиного завантаження робочого простору і визначення знову утвореного готового продукту, є головною умовою оптимізації питомих витрат електрики і проектних рішень, щодо розробки інтелектуальних систем управління електроприводами кульових млинів, насосних агрегатів та сепараторів.

Ключові слова: кульовий млин, геометрія заповнення, теорія катастроф, ідентифікація, управління

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Максимізація продуктивності кульових млинів шляхом оперативної оцінки геометрії заповнення його робочого простору і визначення знову утвореного готового продукту є важливою умовою оптимізації питомих витрат електроенергії і проектування робастних систем автоматизованого управління електроприводу кульових млинів та електроспоживання технологічної лінії збагачення. Наукова значимість таких досліджень пов'язана з енергоефективністю складних динамічних процесів подрібнення сирової руди у внутрішньомлиному просторі і підсиленням процесів хаотичних коливань рудного навантаження з врахуванням властивостей гетерогенного середовища і проектування інтелектуальних систем управління електроспоживання збагачувальних фабрик [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Процесам подрібнення руди в кульових млинах першої, другої а третьої стадій збагачення присвячені дослідження українських вчених Ю.Г. Качана [2], Є.В. Кочури [3], В.І. Корнієнко [4], О.М. Марюти [5], І.В. Новицького [6]. В своїх працях науковці довели що ці процеси є складними динамічними об'єктами керування з нестационарними параметрами й нелінійними залежностями і стохастичними змінними зі значними транспортними запізненнями, режими роботи яких чутливі до текстурних характеристик руди. Математична модель геометрії завантаження кульового млина описана за допомогою R – функцій [7], наведена в роботі [8], дозволила її автору виділити ефективні чинники, щодо оптимізації питомих витрат електроспоживання відносно виходу готового класу на зливі класифікатора. Таким чином, обґрунтування принципів розробки методів зменшення енерговитрат шляхом побудови моделей режимів роботи внутрішньомлиного завантаження та проектування автоматизованого електроприводу кульових млинів з метою зменшення на 20-30 % питомих витрат електроенергії є актуальною науковою проблемою.

Постановка завдання. Ефективність вирішуваної задачі можливо підвищити за рахунок використання теорії катастроф [9] з врахуванням опису складного процесу подрібнення руди з різним станом футеровки млина, куль і складного гетерогенного середовища. Якщо керування процесом здібнення в кульових млинах першої стадії збагачення зведено до максимізації продуктивності по готовому класу $Q_{\text{гот}} \rightarrow \max$, при обмеженні потужності $P_m \leq P_{m\text{max}}$, що відповідає мінімізації енергетичних витрат технологічної лінії збагачення, то траєкторія руху подрібнених частинок руди в млині буде пов'язана з геометрією завантаження млина і його оптимальним заповненням рудою [8].

Метою статті є подальший поглиблений аналіз режимів роботи кульових млинів на основі використання математичного апарату теорії катастроф, вивчення умов втрати стійкості режимів функціонування кульового млина з метою запобігання аварійних ситуацій.

Викладання матеріалу та результати. Розглянемо поведінку кульового млина першої стадії збагачення, який працює в замкнутому циклі з класифікатором і на вхід якого подається руда з різними текстурними характеристиками, і для якого втрата стійкості відповідає одній елементарній катастрофі. З метою ідентифікації складних нелінійних відображень, що відбуваються в кульовому млині від рівноваги, періодичних та квазіперіодичних режимів до біфуркацій та хаосу використаємо теорію катастроф і методи досліджень складних динамічних об'єктів за методикою авторів [10, 11]. Розпочнемо аналіз роботи кульового млина з оцінки змінних його стану до яких будемо відносити: три компоненти геометрії заповнення млина (ядро заповнення) з кутовою швидкістю $x_1 = \omega_x$, $x_2 = \omega_y$, $x_3 = \omega_z$; продуктивність млина по сирій руді $x_4 = 180 \div 250$ т/год, з циркуляційним навантаженням $x_5 = 100 \div 150\%$, управлінські параметри: $u \in \mathbb{R}^2$. У нашому випадку ми їх будимо позначати через U , як це прийнято в теорії управління [11] й будемо називати параметрами керування кульового млина і класифікатора першої стадії збагачення

$$\text{Отже} \quad u_1 = a_1 = \delta_e = \frac{1}{2}(\delta_{e1} + \delta_{e2}), \quad (1)$$

де δ_{e1} - відхилення продуктивності кульового млина по сирій руді; δ_{e2} - відхилення циркуляційного навантаження циклу кульовий млин-класифікатор

$$u_2 = a_2 = \delta_a = \frac{1}{2}(\delta_{e.3.} + \delta_{u.n.}), \quad (2)$$

де $\delta_{e.3.}$ - відхилення геометрії заповнення кульового млина від оптимального; $\delta_{u.n.}$ - відхилення щільності пульпи на зливні млина від заданого значення.

Таким чином, маємо значення $x \in R^5$, $u (=a) \in R^2$. Рівняння геометрії заповнення кульового млина має наступний вигляд

$$x_i = f_i(x, u), \quad i = 1, 5, \quad u \in R^2 \quad (3)$$

Стаціонарне рішення якого відповідає умові

$$x_{i0} = 0, \quad i = 1, 5, \quad u_{j0} = 0, \quad j = 1, 2 \quad (4)$$

Розложимо систему рівнянь (3) в ряд Тейлора в околиці стаціонарної точки ($x_0=0$, $u_0=0$).
Маємо

$$\dot{x}_1 = \sum_{j=1}^5 \left. \frac{df_i}{dx_j} \right|_0 x_j + \sum_{j=1}^2 \left. \frac{df_i}{du_j} \right|_0 u_j + \sum_{j=1}^3 \sum_{k>j}^3 \left. \frac{d^2 f_i}{dx_j dx_k} \right|_0 x_j x_k, \quad (5)$$

$$\dot{x}_1 = \sum_{j=1}^5 \left. \frac{df_i}{dx_j} \right|_0 x_j + \sum_{j=1}^2 \left. \frac{df_i}{du_j} \right|_0 u_j, \quad i = 4, 5, \quad (6)$$

У розложенні (5), (6) перша сума представляє лінійні динамічні складові геометрії заповнення млина друга сума - лінійні управлінські впливи, третя сума (5) враховує інерційні параметри. Стаціонарне рішення системи (5, 6) знаходимо, вважаючи що

$$\dot{x}_1 = 0, \quad i = 1, 5, \dots$$

$$0 = \sum_{j=1}^5 \left. \frac{df_i}{dx_j} \right|_0 x_j + \sum_{j=1}^2 \left. \frac{df_i}{du_j} \right|_0 u_j + \sum_{j=1}^3 \sum_{k>j}^3 \left. \frac{d^2 f_i}{dx_j dx_k} \right|_0 x_j x_k, \quad i = 1, \quad (7)$$

$$0 = \sum_{j=1}^5 \left. \frac{df_i}{dx_j} \right|_0 x_j + \sum_{j=1}^2 \left. \frac{df_i}{du_j} \right|_0 u_j, \quad i = 4, 5 \quad (8)$$

Позначимо для простоти

$$\left. \frac{df_i}{dx_j} \right|_0 x_j = F_{1j}, \quad i = 4, 5; \quad j = 1, 5 \quad (9)$$

$$\left. \frac{df_i}{du_j} \right|_0; \quad j = 1, 2; \quad i = 1, 5 \dots \quad (10)$$

$$\left. \frac{d^2 f_i}{dx_j dx_k} \right|_0 = B_{i,j,k} \dots \quad (11)$$

Два рівняння (7) (8) лінійні щодо змінних x_1, \dots, x_5 . Використовуючи їх, виразимо змінні x_1, \dots, x_5 з врахуванням (9) - (11) у вигляді лінійної комбінації управлінських параметрів і останніх змінних x_1, \dots, x_3 . Підставляючи ці вирази в (7) одержимо три нелінійні алгебричні рівняння

$$\begin{cases} 0 = \sum_{j=1}^2 \overline{U}_{1j} u_j + \sum_{j=1}^5 \tilde{F}_{1j} x_j + B_{1,23} x_2 x_3; \\ 0 = \sum_{j=1}^2 \overline{U}_{2j} u_j + \sum_{j=1}^5 \tilde{F}_{2j} x_j + B_{2,31} x_3 x_1; \dots \\ 0 = \sum_{j=1}^2 \overline{U}_{3j} u_j + \sum_{j=1}^5 \tilde{F}_{3j} x_j + B_{3,12} x_1 x_2; \end{cases} \quad \dots \quad (12)$$

Константи $\overline{U}_{1j}, \tilde{F}_{1j}$ одержані в процесі підстановки x_4 і x_5 в (7) шляхом приведення подібних членів. Інерційні члени не змінюються, так як в їх суму не входять змінні $x_4, x_5 \dots$. Обчислимо систему алгебраїчних нелінійних рівнянь (12). Виразимо із другого і третього рівнянь (12) змінні x_2, x_3 через зміну x_1

$$x_2 = \frac{Q_2(x, u)}{Q_1(x)}; \quad x_3 = \frac{Q_3(x, u)}{Q_1(x)}; \quad (13)$$

$$\text{де } Q_1(x) = (\overline{F}_{23} + B_{2,31} x_1) (\tilde{F}_{32} + B_{3,21} x_1) - \tilde{F}_{22} \tilde{F}_{33} \dots \quad (14)$$

$$Q_2(x, u) = - \left(\sum_{j=1}^2 \tilde{U}_{3j} u_j + \tilde{F}_{31} x_1 \right) (\tilde{F}_{23} + B_{2,31} x_1) + \tilde{F}_{33} \left(\sum_{j=1}^2 \tilde{U}_{2j} u_j + \tilde{F}_{21} x_1 \right) \quad (15)$$

$$Q_3(x, u) = - \left(\sum_{j=1}^2 \tilde{U}_{2j} u_j + \tilde{F}_{21} x_1 \right) (\tilde{F}_{12} + B_{2,31} x_1) + \tilde{F}_{3322} \left(\sum_{j=1}^2 \tilde{U}_{3j} u_j + \tilde{F}_{31} x_1 \right) \dots \quad (16)$$

Підставивши значення (13)-(16) у перше рівняння (12), одержимо наступне алгебраїчне рівняння

$$0 = \sum_{j=1}^2 \tilde{U}_{1j} u_j Q_1^2(x) + \tilde{F}_{11} x_1 Q_1^2(x, u) + \tilde{F}_{12} Q_1(x, u) Q_2(x, u) + \tilde{F}_{13} Q_1(x, u) Q_3(x, u) + B_{1,23} Q_2(x, u) Q_3(x, u) \quad (17)$$

Ці рівняння 5-ї ступені відносно змінної $x = x_1$. Відмітимо, що $Q_1(x)$ не залежить від управлінських параметрів (управління).

Розглянемо конкретний приклад управління процесом подрібнення руди в кульовому млині, який працює в замкнутому циклі з класифікатором. Нехай рівняння (17) має вид (коли $a = u$)

$$0 = \sum_{k=0}^5 a_k x^k = \text{grad } \Phi(x; u) = \Phi_x(x, u), \quad (18)$$

а параметрам $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, u_1, u_2$ відповідають значення, які визначені експериментально [8]. Вираз (18) визначає двомірну багатообразність (гіперповерхність) погруження в трьохмірний простір R^3 з координатами $(x; u_1; u_2)$. Визначимо біфуркаційну множину J_B для функції $\Phi(x; u)$, тобто множину міри ноль в просторі управлінських параметрів ($u \in R^2$), точки якої параметризують функцію $\Phi(x; u)$ з виродженими критичними точками. Для цього нам необхідно знайти, перетин 2-х гіперповерхностей

$$\Phi_x(x; u) = 0 \quad (19)$$

$$\Phi_{xx}(x; u) = 0 \quad (20)$$

Використаємо зміну \mathbf{x} для параметричного уявлення управлінських параметрів (управління) $(u_1(x), u_2(x))$ на біфуркаційній множині J_B .

Запишемо

$$\Phi'_x(x; u) = \sum_{i=0}^s a_i(u) x^i = 0 \quad (21)$$

$$\Phi'''_x(x; u) = \sum_{i=0}^s a_i(u) x^{(i-1)} = 0 \quad (22)$$

у матричному вигляді маємо

$$\begin{bmatrix} x^5 & x^4 & x^3 & x^2 & x^1 & 1 \\ 5x^4 & 4x^3 & 3x^2 & 2x & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & -21.8 \\ -250 & 0 & 0 \\ 0 & 50,3 & 358,9 \\ 541,2 & 0 & 0 \\ 0 & 117,5 & 0 \\ -230 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = 0 \quad (23)$$

Кожному значенню x в (23) відповідає пара сукупних рівнянь для управліннь (u_1, u_2, u_3) - відповідно u_1 - завантаження кульового млина; u_2 - витрати води в млин; u_3 - витрати куль в млин. Рішення цих рівнянь єдине щодо умови, що визначник системи не дорівнює нулю. Параметричне уявлення кривих складки $(u_1(x), u_2(x))$ наведено на рис. 1. Ця проекція багатобразності катастрофи на площину управлінських параметрів (управління) $u_1 = \delta_{e1}, u_2 = \delta_{r3}$, формує біфуркаційну множину J_B . Множина J_B поділяє площину R^2 управлінських параметрів на відкриті її перетинаючі області, в яких функція $\Phi(x; u)$ має різні значення чисел (1, 2, 5) критичних точок, а динамічна система відповідно 1, 3, 5 стійких або нестійких станів рівноваги.

Розглянемо випадок, коли управління кульовим млином оператор виконує лише зміною продуктивності (навантаженням) по сирій руді... δ_{e1} , тобто u_1 при фіксованому типі руди і циркуляційному навантаженні, відповідно навантаження на млин складає $u_1 = 270$ т/год, а оптимальна геометрія завантаження буде відповідати $u_1 = \delta_{e1} = 40$ м³ год (перетин А) рис.1.

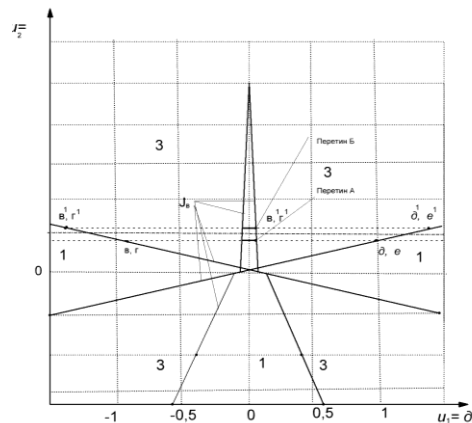


Рис. 1. Біфуркаційна множина J_B різноманіття катастрофи кульового млина на площині управлінських параметрів

Нехай $u_1|_{t=0} = 0$ і ми починаємо довантажувати млин на $\Delta u_1 = 5$ т/год $\delta_{e1} = u_1$. Спочатку зміна $x_1(\omega_1)$ лінійно реагує на зміни u_1 (рис. 2), але при досягненні циркуляційного навантаження $\delta_{e1} = const$, тобто при попадині на біфуркаційну множину J_B стрибком переходить на нижній лист (точка δ , рис.2). На цьому листі стан кульового млина по координаті $x = x_1 = \omega_x$ зовсім є некерованим (при збільшенні завантаження млин переходить в аварійний режим роботи). Іншими словами, якщо оператор захоче повернути кульовий млин в стан $x = 0$, зменшуючи u_1 при $u_2 = const$, то він іще більше приведе до аварійної ситуації. Кульовий млин не буде реагувати на зміну u_1 до тих пір, доти не досягне значень $u_1 = 0$ (точка v , рис. 2), при якому виникає перехід стрибком на верхній лист.

Після цього збільшення u_1 знову буде супроводжуватись відсутністю необхідної реакції аж до $u_1 = 250$ т/год (точка δ), при якому точка x знову перейде на нижній лист (точка e). Середній лист залишається недосяжним при $u_2 = const = 40$ м³/год.

Змусити систему повернути на середній лист (в тому числі в стан $x = x_1 = 0$) можливо лише, змінивши два управлінських параметри u_1 та u_2 . Якщо взяти інший перетин, $u_2 = const$, наприклад, збільшити u_2 до $u_2 = 42$ м³/год (переріз Б рис. 3), то точки стрибком переходять з нижнього листа на верхній і навпаки і ще більше будуть відхилятися від оптимальної геометрії завантаження кульового млина (точка z рис. 3)

$$\delta_e, \delta$$

Цифри вказують на число станів рівноваги (стійких і нестійких)

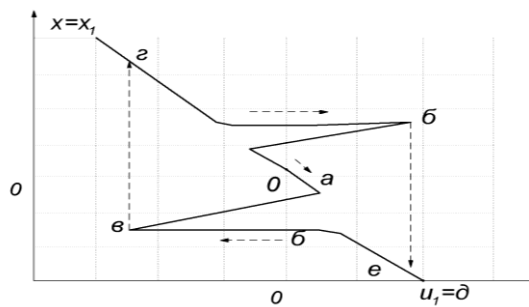


Рис. 2. Залежність координат $x_1 = \omega_x$ від геометрії заповнення млина при постійному значенні маси кульового завантаження (перетин А рис. 3) (168 т)

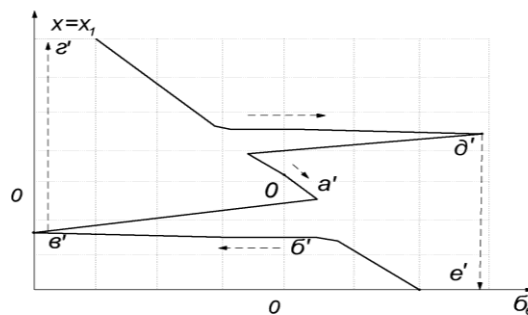


Рис. 3. Залежність координат $x_1 = \omega_x$ від значення завантаження кульового млина при постійному значенні циркуляційного навантаження 120 %

Отже, розглянути метод ідентифікації геометрії внутрішньомлиного навантаження кульового млина дозволяє зрозуміти дослідникам вплив нелінійності на процес подрібнення та розробити: - систему інтелектуального управління млином з контролем геометрії завантаження, шляхом оцінки в часі множини точок, загальних для будь-якої поверхні $K = f(x, y)$ і площини xoy , опису їх за допомогою R - функцій [7] і розпізнавання за параметрами $x_1 \dots x_5$ стану внутрішньомлиного завантаження кульових млинів; методи адаптації параметрів класифікації і збагачення та побудови нечітких регуляторів керування завантаженням млинів першої, другої, третьої стадії подрібнення [12].

Методи інтенсифікації процесів подрібнення, шляхом впливу імпульснобігучого, електромагнітного поля на циркуляційне завантаження;

робототехнологічні пристрої для імпульсного впливу водяними струменями на внутрішньомлине гетерогенне середовище;

системи автоматизованого управління електроприводами класифікаторів, насосів гідроциклонів для підвищення енергоефективності процесів подрібнення, класифікації та збагачення.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Використання теорії катастроф шляхом дослідження біфуркаційної поведінки кульового млина з метою ідентифікації характеристик геометрії його внутрішньомлиного завантаження в умовах невизначеності характеристик сирової руди, стану футеровки млина дозволило авторам статті одержати нові уявлення про процес подрібнення руди, а також запропонувати ряд методів контролю геометрії завантаження в темпі з процесом, інтенсифікації процесів подрібнення з метою підвищення його енергоефективності та зменшення питомих витрат електрики на виробництво концентрату.

Список літератури

1. **Хорольський В.П.** Багаторівнева інтелектуальна система оптимізації електроспоживання гірничо – збагачувальних підприємств/ **В.П.Хорольський, Д.В. Хорольський, К.Г.Тігоренко**// Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015 - №2 – с.192 – 198.
2. **Качан Ю.Г.** Моделирование возмущающих параметров процессов крупнокускового дробления для задач технологических исследований и АСУТП/ **Ю.Г.Качан, И.М.Трипутень**// Горная электромеханика и автоматика. К.: Техника, 1986. – Вып 49. – с. 36 – 40.
3. **Кочура Е. В.** Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергозбереження: дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. / **Е. К. Кочура**./- Днепропетровск, 1996. – 331с
4. **Корнієнко В.І.** Ієрархічне адаптивне керування процесами рудопідготовки за синергетичним принципом з інтелектуальним прогнозуванням/ **В.І. Корнієнко**//Науковий вісник національного гірничого університету. – 2009 - №11 – с.61 – 66.
5. **Марюта А.Н.** Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитнообогатительных фабриках/ **А.Н.Марюта**// М.: Недра, 1975. 231 с.
6. **Новицкий И.В.** Автоматическая оптимизация процесса самоизмельчения руд в барабанных мельницах / дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. / **И.В.Новицкий** Днепропетровск, 1993. – 350с.
7. **Рвачев В.Л.** Методы алгебры логики в математической физике/ **В.Л.Рвачев** // . – Киев: Наукова думка, 1974. – 258 с.
8. **Хорольський В.П.** Адаптивні системи многоуровневого управління технологічними процесами переробки руд./ **В.П.Хорольський**// дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук// Ленинград, 1989, с.412
9. **Gilmore R** Catastrophe Theory for Scientist and Engineers. Wiley. New York. 1981. p. 680.
10. Методы классической и современной теории автоматического управления : Учебник в 5 – и тт.; 2 – е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления /Под ред. **К. А. Пупкова, Н.Д. Егупова**. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784с.; ил.
11. **Mehra R.K., Kessel W.C., Caroll I.V.** Global Stability and Control Analysis of Aircraft of High Arigels of Attach – Cambridge: Scientific Systems, 1977 360 pp
12. **Хорольський В.П.** Інтелектуальна система керування технологічним комплексом збагачення залізних руд/ **В.П.Хорольський, Т.В.Хорольська, В.Б.Хоцькіна**// Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. – техн.зб. – 2013. – 91. – с.47 – 53
Рукопис подано до редакції 23.03.16

УДК 621.316

О.М.СІНЧУК, д-р, проф., Ю.Б. ФІЛІПП, канд. техн. наук, доц.,
М.М. МАКСИМОВ, канд. техн. наук, доц., А.М. ЯЛОВА, аспірант
Криворізький національний університет

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ТА ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Виконано аналіз процесу визначення і заявки лімітів енергоспоживання на залізорудних підприємствах і встановлено, що норми питомого електроспоживання визначаються в умовах невизначеності практично без достатнього