

15. **Fenton G.A.** Reliability-based geotechnical design in 2016 Canadian Highway bridge design code. / **G.A. Fenton, F. Naghibi, D. Dundas, R.J. Bathurst, D.V. Griffiths** // Canadian Geotechnical Journal, 2016. Volume 53. - pp. 236-251. DOI: 10.1139/cgj-2015-0158
16. **Yigit C.O.** Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring. / **C.O. Yigit** // Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2016. Volume 7, Issue 1. - pp. 360-383. DOI: 10.1080/19475705.2014.9177248
17. Stupnik N. Features of underlying levels opening at "ArsellorMittal Kryvyi Rih" underground mine. / **N. Stupnik, V. Kalinichenko, S. Pismennij, E. Kalinichenko** // New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining, 39–44.
18. Fedko M.B. Determination of drilling and blasting parameters considering the stress-strain state of rock ores. / **M.B. Fedko, I.O. Muzyka, S.V. Pysmennyi, O.V. Kalinichenko** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2019. Volume 1, 37–41. DOI: [10.29202/nvngu/2019-1/20](https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-1/20)
19. **Stupnik N.** The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine "Gigant-Gliboka" of central iron ore enrichment works (CGOK). / **N. Stupnik, V.O. Kalinichenko, O.V. Kalinichenko, I.O. Muzyka, S. Pismennij, M.B. Fed'ko** // Metallurgical and mining industry, 2015. Volume 7, 377-383.
20. **Kalinichenko V.** Selective underground mining of complex structured ore bodies of Kryvyi Rih Iron Ore Basin. / **V.O. Kalinichenko, S. Pismennij, N. Shvaher, O. Kalinichenko** // E3S Web of Conferences, 60, art. no. 00041 DOI: [10.1051/e3sconf/20186000041](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000041).
21. **Соколов В. А.** Вероятностный анализ технического состояния и надежности строительных конструкций зданий старой городской застройки: дис. докт. техн. наук : 05.23.01 / **Соколов Владимир Алексеевич** – Санкт-Петербург, 2016. – 497 с.
22. **Смирнов А.А.** Методические указания по лабораторной работе по курсу "Надежность" для студентов каф. "Колесные машины" / **А.А. Смирнов**. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 15 с

Рукопись поступила в редакцию 17.03.2020

УДК 622.73:622.7.016

Д. В. ШВЕЦЬ, ст. викладач

Криворізький національний університет

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ З УРАХУВАННЯМ ЇЇ ХІМІКО-МІНЕРАЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИКАХ

Мета. Розробка математичної моделі технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини з урахуванням інформації про її хіміко-мінералогічні характеристики на рудозбагачувальних фабриках з метою подальшого синтезу системи управління технологічного процесу подрібнення.

Метод. Проведено системний аналіз технологічного процесу подрібнення на рудозбагачувальних фабриках, визначено вектори керованих та некерованих вхідних змінних, вектор вихідних змінних та вектор збурень. Здійснено декомпозицію технологічного процесу подрібнення. Проведено структурний синтез моделі технологічного процесу подрібнення.

Наукова новизна. Запропоновано математичну модель технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини з урахуванням наявності інформації про її хіміко-мінералогічні характеристики на рудозбагачувальних фабриках.

Практичне значення. Розроблена структура технологічного процесу подрібнення представляє собою «м'яку» математичну модель, що є структурно стійкою при випадкових збуреннях змінних. Отримана математична модель має можливість додавання нових змінних і усунення, при виникненні потреби, старих змінних, що забезпечує можливість в процесі використання моделі підключення нових приладів та пристроїв, які будуть надавати додаткову інформацію про стан технологічного процесу подрібнення.

Результати. Проведений системний аналіз технологічного процесу подрібнення на рудозбагачувальних фабриках дозволив визначити склад векторів некерованих вхідних змінних (вміст загального та магнітного заліза в залізорудній сировині, її міцність, вологість, середня крупність після дроблення за вмістом класу -20мм), керованих вхідних змінних (витрати залізорудної сировини в млин, витрати води в млин), вихідних змінних (гранулометричний склад на зливні класифікатора, щільність пульпи на зливні класифікатора, вміст заліза в промпродукті, втрати заліза в хвості збагачення, вихід заліза, видобуток заліза) та некерованих збурень (зношення футерування млина, зношення шарів в млині, витрати електроенергії). Розроблено математичну модель технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини з урахуванням наявності інформації про її хіміко-мінералогічні характеристики на рудозбагачувальних фабриках. Напрямок подальших досліджень полягає в синтезі системи управління технологічним процесом подрібнення залізорудної сировини.

Ключові слова: залізорудна сировина, математична модель, технологічний процес подрібнення, хіміко-мінералогічні характеристики, ядернофізичні методи, магнітометричні методи.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-83-90

О Швець Д. В., 2020

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Важливим напрямком розвитку гірничодобувної промисловості є підвищення ефективності переробки залізорудної сировини (ЗРС). Одним з найбільш енергоємних процесів в технології переробки ЗРС є технологічний процес подрібнення (ТПП). Якість подрібнення ЗРС в значній мірі визначає продуктивність наступних стадій переробки ЗРС [1].

Існують різні способи підвищення ефективності подрібнення ЗРС: зміна технології подрібнення, застосування сучасних систем автоматизованого управління, підвищення точності контролю технологічних параметрів. Одним із способів збільшення ефективності ТПП є підвищення його інформативності за рахунок контролю хіміко-мінералогічних характеристик вхідної ЗРС.

Аналіз досліджень та публікацій. Питанням підвищення ефективності ТПП ЗРС приділялась увага з середини минулого сторіччя [2-5]. Разом з тим, сучасний етап розвитку нових інформаційних технологій характеризується широким впровадженням в інформаційно-вимірні системи ТПП приладів і пристроїв, що дозволяють за допомогою комп'ютерних технологій реалізувати різноманітні алгоритми управління ТПП. Особливе місце при реалізації алгоритмів управління ТПП займають пристрої, що використовують ядернофізичні [6-10] та магнітометричні [11-15] методи взаємодії з ЗРС для визначення її хіміко-мінералогічних характеристик, оскільки це дозволяє суттєво підвищити інформативність ТПП.

Аналіз ТПП як об'єкта управління дозволяє віднести його до категорії складних об'єктів. Дійсно, ТПП притаманні риси, характерні складній системі [16]. Серед них можна виділити стохастичність ТПП, що ускладнює аналіз процесів в ньому і управління; нестационарність ТПП, що проявляється в дрейфі його характеристик, в зміні його стану, тобто в еволюції у часі; невідтворюваність експериментів, що впливає з нестационарності ТПП [17]. Вищезазначені особливості ТПП як складного об'єкта призводять до того, що мета управління в повній мірі ніколи не досягається. Ефективним способом боротьби з перерахованими властивостями ТПП є екстраполяція його поведінки, тобто з'ясування напрямку еволюції. У цьому випадку керуючий вплив наноситься з випередженням з урахуванням поміченої зміни стану. Для цього доцільно використовувати математичну модель.

Постановка завдання. Метою досліджень є розробка математичної моделі ТПП ЗРС з урахуванням інформації про її хіміко-мінералогічні характеристики на рудозбагачувальних фабриках (РЗФ) з метою подальшого синтезу системи управління ТПП.

Викладення матеріалу та результатів. Під моделлю ТПП природно розуміти залежність, яка пов'язує вихідну змінну з його входами - некерованими і керованими

$$\bar{Y} = F(\bar{X}, \bar{U}, \bar{E}), \quad (1)$$

де \bar{Y} - вектор вихідних змінних, \bar{X} - вектор некерованих вхідних змінних, \bar{U} - вектор керованих вхідних змінних, \bar{E} - вектор збурень.

У загальному випадку модель (1) визначається деяким алгоритмом, який вказує, як, володіючи інформацією про вхідні змінні \bar{X} та \bar{U} , визначити вихідну змінну \bar{Y} , не звертаючись до реального об'єкту.

На підставі проведеного системного аналізу ТПП було встановлено, що для оптимального управління ТПП на секції РЗФ необхідно враховувати ряд змінних, які можна представити у вигляді вектору стану системи [18,19]

$$\bar{Z} = (a, f, w, d, Q_p, B_m, Z_1, Z_2, Z_3, g, r_k, b_{nn}, b_{xg}, g_{nn}, e_{nn}) \quad (2)$$

де a – вміст заліза в залізорудній сировині (залізо загальне та магнітне), f – міцність залізорудної сировини, w – вологість залізорудної сировини, d – середня крупність залізорудної сировини після дроблення за вмістом класу -20мм, Q_p – витрати залізорудної сировини в млин, B_m – витрати води в млин, Z_1 – зношення футерування, Z_2 – зношення шарів в млині, Z_3 – витрати електроенергії, g – гранулометричний склад на зливні класифікатора, r_k – щільність пульпи на зливні класифікатора, b_{nn} – вміст загального заліза в промпродукті, b_{xg} – втрати загального заліза в хвості збагачення, g_{nn} – вихід загального заліза, e_{nn} – видобуток заліза.

Виділивши в (2) вектор некерованих вхідних змінних

$$\bar{X} = (a, f, w, d), \quad (3)$$

вектор керованих вхідних змінних

$$\bar{U} = (Q_p, B_m), \quad (4)$$

вектор неконтрольованих збурень

$$\bar{E} = (Z_1, Z_2, Z_3), \quad (5)$$

і вектор вихідних змінних

$$\bar{Y} = (g, r_k, b_{nn}, b_{xv}, g_{nn}, e_{nn}), \quad (6)$$

отримуємо модель технологічного процесу подібнення як об'єкта управління у вигляді (1).

Процес синтезу моделі ТПП можна розділити на два етапи.

Перший етап – це структурний синтез моделі. На цьому етапі визначається вид залежності (1) без урахування значень її параметрів. Для конкретизації розглянутого підходу потрібно «розщепити» модель (1) на її структуру St і параметри \bar{C} , тобто представимо модель у вигляді пари

$$F = \langle St, \bar{C} \rangle, \quad (7)$$

де $\bar{C} = (c_1, c_2, \dots, c_l)$, – вектор параметрів моделі.

На етапі структурного аналізу визначається структура St моделі, конкретними величинами параметрів \bar{C} не цікавляться. При виборі структури ТПП необхідно враховувати особливості протікання даного технологічного процесу. Перш за все, структуру ТПП необхідно вибрати такою, щоб вона була структурно стійка при випадкових збуреннях змінних, що визначається як «м'яка» математична модель [20]. Крім того, ця структура повинна мати можливість додавання нових змінних і усунення старих змінних. Це пов'язано з тим, що у міру використання моделі можуть з'являтися нові прилади та пристрої, які будуть надавати додаткову корисну інформацію про стан ТПП. Разом з тим, досвід використання моделі дозволить виключити застарілі прилади, інформація від яких не відповідає необхідним вимогам при управлінні. Треба також врахувати, що змінні ТПП є додатними величинами. І, нарешті, необхідно врахувати, що ТПП є квазістатичним об'єктом управління, тобто при управлінні перехідними режимами можна знехтувати, представляючи динаміку у вигляді запізнювань. З огляду на зазначені вище особливості ТПП, структуру математичної моделі ТПП в скалярному вигляді доцільно задати у вигляді

$$y(t) = y_0(t) \otimes \bigotimes_{i=1}^N x_i(t - t_i)^{a_i}, \quad (8)$$

де $y(t)$ - вихідна змінна в момент часу t , $x_i(t - t_i)$ - вхідні змінні в момент часу $t - t_i$, $i = 1, \dots, N$, t_i - запізнювання змінної x_i відносно вихідної змінної, $y_0(t), a_i, (i = 1, 2, \dots, N)$ – параметри, \otimes - неконтрольоване збурення.

Необхідно відзначити, що до складу вхідних змінних у формулі (8) входять як керовані, так і некерovanі змінні, які визначаються формулами (3) і (4). Відповідно до формули (6), вихідні змінні утворюють вектор, тому в якості скалярної вихідної змінної (8) можна взяти будь-яку з координат цього вектору. Щодо параметрів, необхідно зробити наступне зауваження. Параметр $y_0(t)$ визначає оцінку стану ТПП в момент часу t , особливістю якого є врахування неконтрольованих збурень. У свою чергу, параметри $a_i, (i = 1, 2, \dots, N)$ виступають як коефіцієнти чутливості вхідних змінних x_1, x_2, \dots, x_N щодо вихідної змінної y . Важливо підкреслити, що структура моделі (8) дозволяє додавати, якщо це необхідно, нові вхідні змінні, або прибирати старі вхідні змінні, якщо вони виявилися непотрібними. Таким чином, на етапі структурного аналізу визначається лише вигляд і характер моделі, а її параметри $y_0(t), a_i, (i = 1, 2, \dots, N)$, а також величини запізнь $t_i, (i = 1, 2, \dots, N)$, знаходяться на наступному етапі ідентифікації параметрів моделі об'єкта. Цей етап пов'язаний з визначенням чисельних величин параметрів, включаючи величини запізнь в режимі нормального функціонування ТПП, тобто без організації спеціальних управляючих впливів на об'єкт, що часто визначається як пасивний експеримент [7]. Вихідною інформацією для ідентифікації є структура (8) і спостереження за поведінкою входу $X(t)$ та виходу $Y(t)$. Таким чином, пара

$$\langle X(t), Y(t) \rangle \quad (9)$$

є джерелом інформації при ідентифікації.

Важливо підкреслити, що ідентифікація полягає в умінні пасивно спостерігати, не втручаючись в хід процесу, бо будь-яке втручання спотворює природний хід спостережуваного явища. Більш того, результати експерименту деяким чином зумовлюються його цілями. Необхідність пасивного спостереження пов'язана ще з тим, що часто складні об'єкти не дозволяють експериментів з ними. У той же час для з'ясування залежності виходу об'єкта від керованих входів необхідно спеціально їх змінювати. Однак, з огляду на те, що складний об'єкт «нетерпимий» до експериментів, які порушують режим його нормального функціонування, їх слід проводити, мінімально збурюючи об'єкт, але так, щоб отримати при цьому максимальну інформацію про вплив варіюваних параметрів на вихід об'єкта. Для цього реалізується планування експериментів, зміст яких полягає в синтезі плану експерименту, що дозволяє з максимальною ефективністю визначити необхідні параметри моделі об'єкта управління. З огляду на те, що ТПП є квазістатичним об'єктом, план експерименту являє собою набір величин керованої входної змінної

$$\langle U_1, U_2, \dots, U_M \rangle, \quad (10)$$

за допомогою якого визначається реакція об'єкта, яка утворює ряд значень вихідної змінної

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_M. \quad (11)$$

В результаті з (10) і (11) будуть утворені M пар значень

$$\langle U_i, Y_i \rangle,$$

які дозволять знайти величини параметрів моделі (1), тобто вирішити завдання ідентифікації. В загальному випадку для отримання моделі (1) необхідно розглядати вже трійки спостережень

$$\langle X_i, U_i, Y_i \rangle, i = 1, 2, \dots, M, \quad (12)$$

так як в процесі планування експериментів необхідно враховувати і величини некерованих входних змінних.

Важливо відзначити, що в результаті планування експериментів може змінитися уявлення про структуру моделі. Ця обставина змушує вводити корекцію структури моделі. Таким чином, при плануванні експериментів визначаються параметри моделі, які неможливо визначити на етапі ідентифікації.

Структура моделі ТПП (8) дає змогу користуватися неадаптивним алгоритмом ідентифікації [21]. Для визначення величин параметрів, що входять у (8), необхідно розв'язати систему з M рівнянь з $N+1$ невідомими, яка утворюється шляхом підстановки даних (12) в формулу (8). Таким чином, завдання неадаптивної ідентифікації зводиться до вирішення системи рівнянь

$$y_0 \times \tilde{O}_{i=1}^N x_{im}^{a_i} = y_m, m = 1, 2, \dots, M. \quad (13)$$

Система рівнянь (13) має дві властивості, які визначають труднощі, що виникають при її розв'язанні: несумісність і трансцендентність. Несумісність пов'язана з випадком, коли число рівнянь більше числа невідомих $M > N+1$. Трансцендентність пов'язана з нелінійністю системи рівнянь. Для вирішення несумісної системи рівнянь застосовується метод найменших квадратів (МНК), сутність якого полягає в мінімізації сумарної нев'язки правих і лівих частин рівнянь цієї системи. Однак вибір спеціальної структури моделі (7) дозволяє спростити рішення, зводячи шляхом логарифмування (8) до лінійності функції відносно шуканих параметрів

$$z = a_0 + \hat{a}_{i=1}^N a_i \times v_i + d, \quad (14)$$

де $z = \ln y(t)$, $a_0 = \ln y_0(t)$, $d = \ln e$, $v_i = \ln(x_i(t - t_i))$.

Згідно виду (14), функція сумарної нев'язки у вигляді суми квадратів нев'язок кожного з рівнянь записується у вигляді

$$\Phi(a_0, a_1, \dots, a_N) = \hat{a}_{m=1}^M (a_0 + \hat{a}_{i=1}^N a_i v_{im} - z_m)^2, \quad (15)$$

де $z_m = \ln y_m$, $v_{im} = \ln x_{im}$.

При цьому рішенням системи рівнянь (14) будуть такі значення параметрів, при яких функція нев'язки (15) мінімальна, тобто

$$\Phi(a_0^*, \dots, a_N^*) = \min_{a_0, \dots, a_N} \Phi(a_0, \dots, a_N). \quad (16)$$

Спеціальний вид функції (14) дозволяє вирішити задачу мінімізації, скориставшись необхідною умовою існування екстремуму функції, тобто прирівнявши частинні похідні функції (15) до нуля

$$\frac{\nabla \Phi(a_0, \dots, a_N)}{\nabla a_i} = 0, (i = 0, 1, \dots, N), \quad (17)$$

Оскільки (14) є лінійною функцією відносно параметрів, то (15) є квадратичною функцією, що обумовлює лінійність системи рівнянь (17). Дійсно, підставляючи (15) в (17) і обчислюючи частинні похідні, отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) щодо невідомих параметрів

$$\begin{cases} a_0 M + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N a_i v_{im} = \sum_{m=1}^M z_m \\ a_0 \sum_{m=1}^M v_{Nm} + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N b_i v_{im} v_{Nm} = \sum_{m=1}^M z_m v_{Nm} \end{cases}. \quad (18)$$

СЛАР (18) є сумісною і може бути вирішена стандартними методами. Важливо підкреслити, що при формуванні статистичних масивів (12) необхідно враховувати запізнювання вхідних змінних щодо вихідної змінної. Більш того, для уточнення величин запізнювань доцільно застосування МНК, реалізуючи прямий пошук, послідовно порівнюючи величини функцій (15) з метою знаходження мінімального значення.

В результаті математична модель (8) буде представлена у вигляді

$$y(t) = y_0^* \times \tilde{O}_{i=1}^N x_i(t - t_i^*)^{a_i^*}, \quad (19)$$

де $y_0^* = e^{a_0^*}$, $a_0^* = a_i^*$ - величини параметрів, знайдені за допомогою МНК, $i = 1, \dots, N$, t_i^* - уточнені величини запізнь, $i = 1, \dots, N$,

Математична модель (19) є неперервною за часом. При цьому повинен неперервно підраховуватися параметр, який характеризує стан ТПП і тим самим враховує дію неконтрольованих збурень за формулою, яка витікає з (19)

$$y_0(t) = \frac{y(t)}{\tilde{O}_{i=1}^N x_i(t - t_i^*)^{a_i^*}}. \quad (20)$$

Графік функції (20) в залежності від часу описує деяку неперервну траєкторію, яка визначає дрейф стану ТПП. Аналіз графіка функції (20) дозволяє передбачити стан ТПП на момент приходу керуючого впливу з урахуванням величини запізнь, що дозволяє поліпшити якість управління. Разом з тим, якщо спостерігається незрозуміла зміна величини параметра (20), з подальшим погіршенням якості ідентифікації, то необхідно заново провести ідентифікацію параметрів моделі ТПП (16).

На практиці, як правило, реалізується дискретний режим управління технологічним процесом. У цьому випадку параметр (20) обчислюється через заданий проміжок часу по формулі

$$y_0(k \times Dt) = \frac{y(k \times Dt)}{\tilde{O}_{i=1}^N x_i((k - l_i)Dt)^{a_i^*}}, (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (21)$$

де Dt - дискретність зняття інформації, l_i - величина запізнювання змінної x_i щодо вихідної змінної в одиницях Dt .

Послідовні значення (21)

$$y_0(0), y_0(1), y_0(2), \dots \quad (22)$$

утворюють дискретний часовий ряд, значення якого характеризують стан протікання процесу в дискретні моменти часу. Часовий ряд (22) є стохастичним, тому його прогнозування повинно проводитися за допомогою методів математичної статистики. Передбачення стану процесу на момент приходу керуючого впливу надасть можливість підвищити якість управління процесом. Незрозуміла зміна стану процесу, оцінена за допомогою формули (21), з подальшим погіршенням якості ідентифікації є сигналом для повторення ідентифікації параметрів моделі ТПП (13).

Отримана математична модель ТПП (19) реалізована як «чорна скринька», при певних припущеннях про її внутрішню структуру. Разом з тим, доцільно більш повно використовувати

інформацію про її внутрішню структуру як про систему взаємодіючих елементів. Така інформація є вихідною для декомпозиції моделі ТПП, тобто для поділу її на взаємодіючі елементи. Зміст декомпозиції полягає в тому, щоб відповідно до апріорних відомостей про структуру ТПП, спростити задачу побудови моделі, в якій кожен елемент декомпонованого ТПП буде простіше початкового ТПП, полегшивши цим самим вирішення основного завдання, пов'язаного з управлінням ТПП. Аналізуючи внутрішню структуру ТПП, можна прийти до висновку, що він включає такі взаємодіючі елементи, як млин, класифікатор і магнітний сепаратор. На рис. 1 показана декомпозиція ТПП.

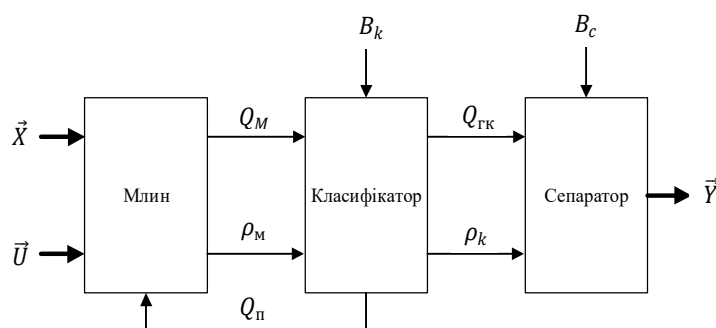


Рис. 1. Схема декомпозиції ТПП

елементів, що розглядається як багатополіусник, тобто перетворювач з багатьма входами і виходами, може бути представлений у вигляді таких функціональних залежностей:

для млина

$$Q_M = Q_M(\vec{X}, \vec{U}, Q_n); \quad (23)$$

$$\rho_M = \rho_M(\vec{X}, \vec{U}, Q_n); \quad (24)$$

для класифікатора

$$Q_{гк} = Q_{гк}(Q_M, \rho_M, B_k); \quad (25)$$

$$\rho_k = \rho_k(Q_M, \rho_M, B_k); \quad (26)$$

$$Q_n = Q_n(Q_M, \rho_M, B_k); \quad (27)$$

для магнітного сепаратора

$$\vec{Y} = \vec{Y}(Q_{гк}, \rho_k, B_c). \quad (28)$$

Беручи до уваги зауваження, зроблені при структурному синтезі ТПП, кожна з функцій (23), ..., (28) може бути записана у вигляді:

млин

$$Q_M(t) = Q_{M0}(t) \cdot \prod_{i=1}^7 x_i(t - \tau_{i1})^{a_i}, \quad (29)$$

$$\rho_M(t) = \rho_{M0}(t) \cdot \prod_{i=1}^7 x_i(t - \tau_{i1})^{b_i}, \quad (30)$$

де $x_1 = \alpha$, $x_2 = f$, $x_3 = w$, $x_4 = d$, $x_5 = Q_p$, $x_6 = B_n$, $x_7 = Q_n$,

$Q_{M0}(t)$, $\rho_{M0}(t)$, a_i , b_i , ($i = 1, \dots, 7$) - параметри;

класифікатор

$$Q_{гк}(t) = Q_{гк0}(t) \cdot \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i2})^{c_i}, \quad (31)$$

$$\rho_k(t) = \rho_{к0}(t) \cdot \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i2})^{d_i}, \quad (32)$$

$$Q_n(t) = Q_{n0}(t) \cdot \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i2})^{e_i}, \quad (33)$$

де $x_1 = Q_M$, $x_2 = \rho_M$, $x_3 = B_k$,

$Q_{гк0}(t)$, $\rho_{к0}(t)$, $Q_{n0}(t)$, c_i , d_i , e_i , ($i = 1, 2, 3$) - параметри;

магнітний сепаратор

$$g(t) = g_0(t) \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i3})^{f_i}, \quad (34)$$

$$\rho_c(t) = \rho_{c0}(t) \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i3})^{l_i}, \quad (35)$$

$$\beta_{nn}(t) = \beta_{nn0}(t) \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i3})^{m_i}, \quad (36)$$

$$\beta_{xb}(t) = \beta_{xb0}(t) \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i3})^{n_i}, \quad (37)$$

$$\varepsilon_{nn}(t) = \varepsilon_{nn0}(t) \prod_{i=1}^3 x_i(t - \tau_{i3})^{p_i}, \quad (38)$$

На рис. 1, додатково до (3) - (6), прийняті наступні позначення: Q_n - витрата пісків, Q_M - витрата подрібненої руди, $Q_{гк}$ - витрата пульпи готового класу, B_k - витрата води у класифікатор, B_c - витрата води у сепаратор, ρ_M - щільність пульпи на виході млина, ρ_k - щільність пульпи на зливі класифікатора.

Згідно представленій на рис. 1 схеми декомпозиції ТПП, кожен з

де $x_1 = Q_{гк}$, $x_2 = \rho_k$, $x_3 = B_c$, $g_0(t)$, $\rho_{c0}(t)$, $\beta_{пп0}(t)$, $\beta_{хв0}(t)$, $\gamma_{пп0}(t)$, $\varepsilon_{пп0}(t)$, f_i , l_i , m_i , n_i , p_i , $(i = 1, 2, 3)$ – параметри.

Для знаходження величин параметрів, що входять у формули (29), ..., (38), необхідно провести ідентифікацію параметрів для кожної з математичних моделей при наявності відповідної інформації. Оцінюючи стан кожного з елементів ТПП, визначених формулами (29), ..., (38), і утворюючи з величин цих станів стохастичні часові ряди, можна прогнозувати майбутні їх стани з метою розрахунку випереджаючих величин керуючих впливів при реалізації відповідних алгоритмів управління.

Таким чином, формули (29), ..., (38) дозволяють для кожного з елементів ТПП як результату декомпозиції спростити рішення задачі управління, насамперед, шляхом зменшення величини запізнювання.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Результатом досліджень є розробка математичної моделі ТПП ЗРС РЗФ. Напрямок подальших досліджень полягає в синтезі системи управління ТПП ЗРС.

Список літератури

1. Линч, А. Дж. Циклы дробления и измельчения / А. Дж. Линч. — Москва: Недра, 1981.-343 с.
2. Марюта А. Н. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан, В. А. Бунько. — Москва: Недра, 1983 — 277с.
3. Процунто В. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами обогатительных фабрик / В. С. Процунто. — Москва: Недра, 1987. — 253с.
4. Остапенко П. Е. Теория и практика обогащения железных руд / П. Е. Остапенко. — М.: Недра, 1985. — 270 с.
5. Марюта А. Н. Автоматизация процессов обогащения руд / А. Н. Марюта, А. Н. Давидкович, Т. И. Гуленко, В. А. Кондратец. — Киев: Техніка, 1972. — 140 с.
6. Using the intensity of absorbed gamma radiation to control the content of iron in ore / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrennikov, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2019. — Vol. 3, issue 5 (99). — P. 29–35. — DOI: 10.15587/1729-4061.2019.170341.
7. Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2018. — Vol. 5, issue 5 (95). — P. 13–19. — DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
8. Azaryan A. Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets // Metallurgical and Mining Industry. — 2015. — Issue 8. — P. 64–66. — URL: <https://bit.ly/2Xf1Vpx>.
9. XRD, internal field-NMR and Mössbauer spectroscopy study of composition, structure and magnetic properties of iron oxide phases in iron ores / M. Manjunatha, R. Kumar, A. Anupama [et al.] // Journal of Materials Research and Technology. — 2019. — Vol. 8, issue 2. — P. 2192–2200. — DOI: 10.1016/j.jmrt.2019.01.022.
10. Experimental and simulated study of detector collimation for a portable 3"×3" NaI(Tl) detector system for in-situ measurements / K. U. Kiran, K. Ravindraswami, K. M. Eshwarappa, H. M. Somashekarappa // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. — 2015. — Vol. 8, issue 4. — P. 597–605. — DOI: 10.1016/j.jrras.2015.07.006.
11. Азарян А. А. Контроль содержания магнитного железа в пылевых продуктах рудообогатительной фабрики / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Ю. Е. Цыбулевский, Д. В. Швець // International Academy Journal «Web of Scholar». — 2017. — № 1(10). — С.9–12.
12. Азарян А. А. Разработка измерительного канала для оперативного контроля содержания железа магнитного во взрывных скважинах / А. А. Азарян, А. А. Трачук, А. Н. Гриценко, Д. В. Швець // Центрально-український науковий вісник. Технічні науки. — 2019. — № 32. — С. 138–145.
13. Швець Д. В. Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливі класифікатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / Д. В. Швець // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. — Кривой Рог, 2014. — С. 252–264.
14. Азарян А. А. Перспективы построения систем автоматического регулирования процесса магнитной сепарации на базе погружных анализаторов содержания магнитного железа / А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Д. В. Швець // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. — Кривой Рог, 2017. — С. 214–228.
15. Цыбулевский Ю. Е. Исследование влияния физических характеристик материала железосодержащей пробы на размеры индуктивных датчиков. / Ю. Е. Цыбулевский, А. В. Швыдкий // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. — Кривой Рог, 2011. — С. 208–212.
16. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. — Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. — 318 с.
17. Швець Д. В., Азарян А. А. Анализ характеристик технологического процесса измельчения рудообогатительной фабрики // XIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі» (KICSM). 24-26 березня 2020 р. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2020. - С. 227-229.
18. Азарян А.А. Розробка математичної моделі технологічного процесу подрібнення залізорудної сировини на рудозбагачувальних фабриках / Азарян А.А., Швець Д.В., Карабута Н.О. // Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the fifth International scientific and practical conference. Kharkiv, Ukraine. 2020. Pp. 21-27.

19. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч.1 / [Островский Г.М., Абиев Р.Ш., Барабаш В.М. и др.]; под ред. Г.М. Островского. – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 846 с.

20. Бордовский Г.А. Физические основы математического моделирования. Учебное пособие / Г. А. Бордовский, А.С. Кондратьев, А.Д.Р. Чоудери. – Москва: Издательский центр «Академия», 2005. – 320с.

21. Игнатъев А.А. Основы теории идентификации объектов управления: учеб. пособие / А.А. Игнатъев, С.А. Игнатъев. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2008. – 44 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.2020

УДК 658.38:621.1

В.Г. НАЛИВАЙКО, канд. техн. наук, доц., О.Г. МОВЧАН, канд. хим. наук, доц.,
К.В. ЛОСЬЕВ, ассист.

Криворожский национальный университет

ВЛИЯНИЕ УСТАНОВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РЕМОНТОВ ПО ЗАМЕНЕ АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТРАВМООПАСНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Цель. Целью данной работы является разработка методов и способов повышения безопасности труда при эксплуатации и ремонтах теплотрасс. Также необходимо выявить наиболее травмоопасные специальности работников предприятий теплоснабжения, уменьшив аварийную производственную нагрузку на них. Уменьшение аварийных работ может быть достигнуто путем проведения профилактических работ на теплотрассах, сокращая при этом количество опасных работ.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием математико-статистического метода экспертных оценок. Данный метод позволяет оперативно выявить наиболее проблемные и затратные работы предприятий теплоснабжения возникающие как в процессе эксплуатации оборудования и теплотрасс так и с внезапными аварийными ситуациями. Таким образом можно определить перечень профилактических работ которые должны быть выполнены в первую очередь.

Научная новизна. Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволяют оперативно определить проблемы при организации профилактических ремонтов на предприятиях теплоснабжения.

Практическая значимость. Полученные выводы по результатам исследований позволят разработать рекомендации по уменьшению количества аварийных работ на теплотрассах. Определив наиболее травмоопасные специальности предприятий теплоснабжения необходимо уменьшить производственную нагрузку связанную с аварийными работами через проведение профилактических работ на наиболее потенциально опасных аварийных участках.

Разработанные рекомендации на основе математико-статистического метода экспертных оценок позволяют улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизить количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит заболеваемость работников предприятий теплоснабжения и повысит безопасность труда особенно в осенне-зимний период года, а также сократит экономические потери от ликвидации аварийных ситуаций и лечения заболевших работников теплогенерирующих предприятий.

Результаты. Как показал анализ проведенных исследований наиболее значимыми в определении очередности проведения работ на предприятиях, являются прогнозирование аварийных участков теплотрасс и совершенствование организационных ремонтных работ на теплотрассах. На основании профилактических графиков ремонтных работ можно составить первоочередность замены труб аварийных участков, что намного облегчит планирование ремонтных работ по замене аварийных участков трубопроводов. Наиболее травмоопасными специальностями являются газосварщик и электросварщик. Условия их работы эксперты определяют как опасные и вредные.

Ключевые слова: экспертная оценка, математико-статистический метод экспертных оценок, баллы оценки.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-90-96

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Существенными факторами сокращения количества ремонтных работ являются профилактические работы при эксплуатации теплогенерирующего оборудования и заблаговременное выявление аварийных участков теплотрасс.

Эти работы определяют объемы и количество подлежащих замене аварийных теплопроводов. Существенно также влияет время и условия нахождения трубопроводов под землей и их параметры (диаметр, толщина стенок трубопроводов, протяженность аварийных участков).