

ва Думка, 1992. – 312 с.

6. Akagi H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes. – New York: Wiley, 2007. – 379 p.

7. Fryze S. Wrink-, Blind-, and Scheinleistung in Elektrischen Stromkreisen mit Nichtsinusoidalem Verlauf von Strom und Spannung / S. Fryze // Elekt. Zeitschrift – 1932. – Vol. 53. – № 25. – P. 596-599.

Рукопис подано до редакції 23.03.13

УДК 681.5.015: 622.7-52

В.Б. ХОЦКІНА, канд. техн. наук, доц., КЕІ ДВНЗ «Криворізький національний університет»

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПОТУЖНОСТЯМИ ПІДПРИЄМСТВА

Розроблено інформаційну систему інтелектуального керування групою виробничого обладнання на прикладі фабрики огрудкування. Досліджено її структуру та логіко-динамічні моделі процесу керування в умовах виникнення складних аномальних явищ і виробничих проблемних ситуацій.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Проблеми раціонального використання рудної сировини тісно пов'язані з можливостями процесів збагачення, огрудкування і випалення обкотишів, які в багатьох випадках залежать від ефективності узгодженого управління стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових руд, а також їх узгодженого паралельного управління секціями збагачення в умовах завдань фабрики огрудкування концентрату в обкотиші. В останні десять років на збагачувальних фабриках ПАТ «ЦГЗК» і ПАТ «ПівнГЗК», які виробляють високосортні концентрати і обкотиші, склалась тенденція до погіршення якості сирової руди, що надходить на збагачення при значно підвищених вимогах до якості концентрату наступною стадією його переділу в обкотиші. Збільшення потоків сирової руди, яку послідовно переробляють на дробильній та збагачувальній фабриках, у свою чергу значно збільшило ціну помилок при управлінні, які в умовах ринкової економіки потрібно зменшити до мінімуму за рахунок багаторівневого адаптивного управління [1]. Виникає проблема: яким чином в умовах невизначеності, нелінійності, значної інерційності і квазістаціонарності, високої розмірності побудувати надійні системи автоматичного керування складними технологічними процесами, як постадійного так і паралельного управління секціями збагачувальної фабрики, продукція (концентрат) якої надходить на фабрику огрудкування. Актуальність даної проблеми витікає із ряду задач, поставлених перед збагачувальниками: зменшення втрат корисних компонентів і підвищення їх вилучення в концентрат з мінімізацією коливань масової частки заліза в концентраті, що надходить на огрудкування. Ці задачі, відповідно, визначені стратегічною політикою підприємств групи «Метінвест» щодо збереження сировинних ресурсів і необхідністю подолання екологічних і техногенних проблем [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Узгоджене адаптивне управління складними технологічними процесами на збагачувальних фабриках підприємств групи «Метінвест» пов'язане з великою розмірністю (багатомірністю) з одного боку, а з іншого - складною декомпозицією вихідних (вхідних) систем як по вертикалі ієрархічного підпорядкування, так і по горизонталі в межах одного рівня ієрархії [1]. По вертикалі система адаптивного управління технологічними процесами збагачення багатьма вченими розподіляється на три рівні [3-5]: нижній, який керує окремими локальними системами адаптивного управління; середній, який керує трьома стадіями процесів збагачення, тобто окремими контурами і технологічними агрегатами; верхній (концептуальний) [3], до функцій якого входить координація роботи n - технологічних секцій з метою забезпечення заданої продуктивності і якості продукції фабрики огрудкування. Цю задачу формулюватимемо як задачу оптимізації проблемного середовища інтелектуальних систем управління групою технологічних секцій з урахуванням невизначеності щодо текстурних характеристик руди, яка надходить на збагачення. Отже, висока розмірність та інерційність процесів, яка дорівнює в часі розвитку нестационарності, зумовлює основні труднощі щодо моделювання й управління об'єктами збагачувальної технології, а відповідно і побудови робастних автоматизованих систем керування групою технологічних секцій, що працюють на фабрику огрудкування. Дослідження в статті виконано за трьома основними аспектами актуальної проблеми: зменшення розмірності задачі управління, моделювання нестационарних об'єктів, а також по-

будова ефективних методів та алгоритмів узгодженого інтелектуального управління групою технологічних секцій, що працюють на фабрику огрудкування.

Метою статті є підвищення ефективності управління групою технологічних секцій на основі обробки неоднорідно-інтерпретованих даних за допомогою нейронних мереж.

Викладення основного матеріалу. Маємо групу технологічних секцій збагачувальної фабрики ПАТ «ЦГЗК», завданням якої є виробництво концентрату з масовою часткою заліза $\beta_{кф} \leq 68,3\%$, післяфільтраційною продуктивністю $Q_{\beta ф} \leq Q_{\beta ф \min}$, з вологістю $\beta_{зад} \leq 10\%$, який направляється на переробку на фабрику огрудкування для виробництва продукції з доданою вартістю - обкотишів. Завданням управління є виконання вимог фабрики огрудкування щодо параметрів $\bar{\beta}_{кф}$, $\bar{Y} \{ \bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n \}$ і $\bar{B} \{ \bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_n \}$ та мінімізації втрат заліза в хвостах $\bar{\alpha}_{хв} \leq \bar{\alpha}_{хв \min \text{ зад}}$. Таким чином, маємо комплекс розподілених виробничих об'єктів (технологічних секцій збагачувальної фабрики), які працюють паралельно (рис. 1).

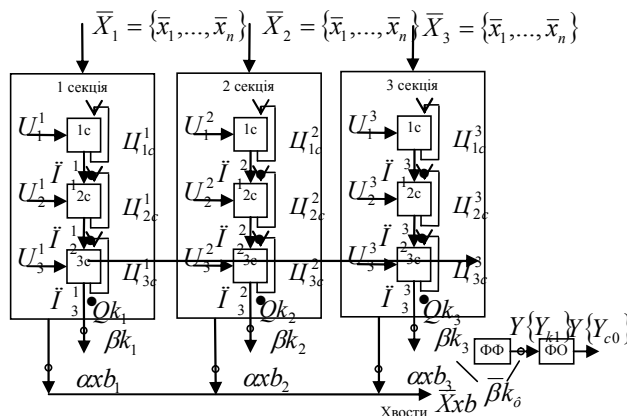


Рис. 1. Група технологічних секцій РЗФ, як об'єкту інтелектуального управління

Сира руда з технологічного бункера з параметрами $\bar{X}_1 = \{ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \}$,

$\bar{X}_2 = \{ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \}$, $\bar{X}_3 = \{ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n \}$ із різними текстурно-мінералогічними характеристиками надходить на першу стадію збагачення - 1с (першої, другої і третьої секцій) в два кульових млина, що працюють в замкнутому циклі із класификаторами, зливи яких надходять в зумпфи першої стадії збагачення.

Далі пульпа надходить на першу стадію магнітної сепарації, яка розділяє пульпу на магнітний проміжний продукт $\Pi_1^1, \Pi_2^1, \Pi_3^1$ трьох секцій і хвости

$\alpha_{1c}^1, \alpha_{1c}^2, \alpha_{1c}^3$ перших стадій збагачення трьох секцій. На першу стадію збагачення трьох секцій також надходять керовані впливи $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3$ - витрати води у млини, класификатори та зумпфи, витрати куль тощо. Кожна зі стадій також характеризується циркуляційним навантаженням $\Pi_{1c}^1, \Pi_{2c}^1, \Pi_{3c}^1$ (для секції 1), $\Pi_{1c}^2, \Pi_{2c}^2, \Pi_{3c}^2$ (для секції 2) і $\Pi_{1c}^3, \Pi_{2c}^3, \Pi_{3c}^3$ для секції 3.

Отже, потрібно створити систему, яка б у реальному масштабі часу проводила моніторинг необхідної інформації (даних) про процеси подрібнення, класифікації і магнітної сепарації та відзеркалювала цю інформацію у зручній для користувача формі у вигляді бази знань БЗ1, БЗ2, БЗ3, ..., які ви-значають структуру та властивості об'єктів (технологічних секцій) і середовища. При нормальному виконанні процесу збагачення оператору необхідно відслідковувати лише основні параметри:

$\{ \Pi_1^1, \Pi_{1c}^1, \alpha_{1c}^1 \}, \{ \Pi_2^2, \Pi_{1c}^2, \alpha_{1c}^2 \}, \{ \Pi_3^3, \Pi_{1c}^3, \alpha_{1c}^3 \}$ перших стадій відповідно секцій 1, 2, 3. Але у випадку зміни визначених умов або виникненні непередбачених технологічних ситуацій система повинна сигналізувати про них операційному персоналу, а також формувати додаткові звітно-довідкові дані у вигляді запиту про зміни вимог (об'ємів) виробництва концентрату з масовою часткою заліза $\beta_{кф} \leq 68,3\%$ і відповідно сумарною продуктивністю $Q_{K_1} + Q_{K_2} + Q_{K_3}$, що відповідає вихідному вектору $Y \{ \bar{y}_{K_1}, \bar{y}_{K_2}, \dots, \bar{y}_{K_n} \}$, який задано внутрішнім портфелем замовлень фабрики огрудкування.

Схема роботи такої інтелектуальної системи управління може бути задана наступними правилами виду

$$D_i(S) \Rightarrow Z_i(S_i) \tag{1}$$

$$F_j(S) \Rightarrow P_j(S_j), \tag{2}$$

де S - динамічна інформаційна модель стану технологічних секцій і їх обладнання; $D_i(S), F_j(S)$ - опис станів інформаційної моделі S ; $S_i \subseteq S$ - підмножина інформаційних елементів моделі S ; $Z_i(S_i)$ - присвоєння знаків інформаційних елементів S_i в S ; $P_j(S_j)$ - функція перетворення стану

моделі S . З формул (1) і (2) слідує таке:

Інформаційні елементи S_i моделі S дають можливість виконати операції над S , а саме: виведення команд, запитів або тестів для визначення стану технологічного обладнання секції.

Із формули (2), в свою чергу, слідує, що в стані, який задовольняє $F_j(S)$, можливо виконати перетворення P_j власне S , яке віддзеркалює логічний висновок про виконання процесу збагачення з позиції забезпечення поточних значень $Q_{K1}(t_1), Q_{K2}(t_1), Q_{K3}(t_1), \dots$ портфеля замовлень фабрики огрудкування.

Отже, в системі інтелектуального управління групою технологічних секцій ЗФ ПАТ «ЦГЗК», маємо систему моніторингу, яка збирає дані про стан комплексу збагачення і його технологічне обладнання. Якщо задати цільову траєкторію T^* зміни в часі стану комплексу технологічних об'єктів збагачення (кульових млинів, класифікаторів, гідроциклонів, магнітних сепараторів, дешламаторів, електродвигунів, локальних адаптивних систем керування нижнього рівня управління), то в процесі роботи кожна технологічна секція відтворює свою визначену фактичну траєкторію $T_1^*(t), T_2^*(t), T_3^*(t)$. Ці траєкторії можуть відрізнятись одна від одної в часі за рахунок різного стану технологічного обладнання, параметрів $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3, U_1^1, U_2^1, U_3^1, C_{1c}^1, C_{2c}^1, C_{3c}^1 \dots$ тощо. Потрібно побудувати систему інформаційного забезпечення, яка б оцінювала відхилення фактичної траєкторії $T_{\Phi}(t)$ від $T_{зад}^*(t)$ за кожною секцією з передаванням даних про ці відхилення оператору-диспетчеру збагачувальної фабрики. Цю задачу можна звести до рішення більш простої підзадачі, коли траєкторія $T^*(t)$ представлена лише однією вершиною, яка описує визначену область станів виробництва концентрату з параметрами $\{Q_{K_1}^1(t_1), \beta_{K_1}^1(t_1), \alpha_M^1(t_1)\}; \{Q_{K_2}^2(t_1), \beta_{K_2}^2(t_1), \alpha_M^2(t_1)\}; \{Q_{K_3}^3(t_1), \beta_{K_3}^3(t_1), \alpha_M^3(t_1)\}$ кожної із трьох секцій. Отже, процес управління може бути зведеним до контролю масової частки заліза в концентраті траєкторії виробництва за кожною із трьох секцій $\beta_{K_1}^1(t_1), \beta_{K_2}^2(t_2), \beta_{K_3}^3(t_3)$, масової частки магнітного заліза у хвостах за кожною із трьох секцій $\alpha_M^1(t_1), \alpha_M^2(t_2), \alpha_M^3(t_3)$, продуктивності кожної секції по концентрату $Q_{K_1}^1(t_1), Q_{K_2}^2(t_2), Q_{K_3}^3(t_3)$, та розрахунку раціональних режимів роботи завантаження кульових млинів (КМ) першої стадії збагачення, класифікаторів (кл) та магнітних сепараторів (МС) першої стадії збагачення по кожній із трьох секцій. При цьому оператор збагачувального процесу повинен досягти в момент $T_1(t)$ заданих значень «ефективності виробничого циклу першої стадії збагачення» для кожної із трьох паралельно працюючих секцій у вигляді оцінки наборів параметрів виду

$$\left\{ \left\{ \rho_{K_1}^1 \right\}_1, \left\{ \beta_{K_1-0,056}^1 \right\}_1, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_1} \right\}_1, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2} \right\}_1, \left\{ W_{\alpha_1}^{KM_1} \right\}_1, \left\{ W_{\alpha_1}^{KM_2} \right\}_1, \left\{ W_{\alpha_1}^{KL_1} \right\}_1, \left\{ W_{\alpha_1}^{KL_2} \right\}_1, \left\{ C_{1C}^{KM_1} \right\}_1, \left\{ C_{1C}^{KM_2} \right\}_1, \left\{ Q_{1C}^{KM_1} \right\}_1, \left\{ Q_{1C}^{KM_2} \right\}_1 \right\} \quad (3)$$

для першої секції.

$$\left\{ \left\{ \rho_{K_2}^1 \right\}_2, \left\{ \beta_{K_2-0,056}^1 \right\}_2, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_1} \right\}_2, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2} \right\}_2, \left\{ W_{\alpha_1}^{KM_1} \right\}_2, \left\{ W_{\alpha_1}^{KM_2} \right\}_2, \left\{ W_{\alpha_1}^{KL_1} \right\}_2, \left\{ W_{\alpha_1}^{KL_2} \right\}_2, \left\{ C_{1C}^{KM_1} \right\}_2, \left\{ C_{1C}^{KM_2} \right\}_2, \left\{ Q_{1C}^{KM_1} \right\}_2, \left\{ Q_{1C}^{KM_2} \right\}_2 \right\} \quad (4)$$

для другої секції.

$$\left\{ \left\{ \rho_{K_3}^1 \right\}_3, \left\{ \beta_{K_3-0,056}^1 \right\}_3, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_1} \right\}_3, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2} \right\}_3, \left\{ W_{\alpha_1}^{KM_1} \right\}_3, \left\{ W_{\alpha_1}^{KM_2} \right\}_3, \left\{ W_{\alpha_1}^{KL_1} \right\}_3, \left\{ W_{\alpha_1}^{KL_2} \right\}_3, \left\{ C_{1C}^{KM_1} \right\}_3, \left\{ C_{1C}^{KM_2} \right\}_3, \left\{ Q_{1C}^{KM_1} \right\}_3, \left\{ Q_{1C}^{KM_2} \right\}_3 \right\} \quad (5)$$

для третьої секції.

Назва цих параметрів та їх грубі експертні значення наведені в табл. 1. Очевидним є те, що ці параметри для кожної із трьох секцій матимуть на момент $T_1^1(t)$ свої грубі нечіткі значення, а отже, і рівень їх впливу на вихідні показники проміжного продукту першої стадії збагачення $\beta_{\Pi\Pi\Pi(-0,056)}, \beta_{Fe\Pi\Pi\Pi(-0,056)}$, і $\alpha_{\alpha_{Fe\Pi\Pi\Pi}}$ будуть також різні. Проміжний продукт першої стадії надходить на другу стадію подрібнення, класифікації та магнітної сепарації, режимам роботи якої відповідають наступні параметри

$$\left\{ \left\{ \rho_{3M}^2 \right\}_1, \left\{ \Pi\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2} \right\}_1, \left\{ \beta_{Fe}^2 \right\}_1, \left\{ \rho_{\Gamma}^2 \right\}_1, \left\{ \beta_{\Gamma(-0,056)}^2 \right\}_1, \left\{ T_{\Gamma}^2 \right\}_1, \left\{ C_{\Gamma}^2 \right\}_1 \right\} \quad (6)$$

для першої секції.

$$\left\{ \rho_{3M}^2 \right\}_2, \left\{ \Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2} \right\}_2, \left\{ \beta_{Fe}^2 \right\}_2, \left\{ \rho_{\Gamma}^2 \right\}_2, \left\{ \beta_{\Gamma(-0,056)}^2 \right\}_2, \left\{ T_{\Gamma}^2 \right\}_2, \left\{ \Pi^2 \right\}_2 \right\} \quad (7)$$

для другої секції.

$$\left\{ \rho_{3M}^2 \right\}_3, \left\{ \Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2} \right\}_3, \left\{ \beta_{Fe}^2 \right\}_3, \left\{ \rho_{\Gamma}^2 \right\}_3, \left\{ \beta_{\Gamma(-0,056)}^2 \right\}_3, \left\{ T_{\Gamma}^2 \right\}_3, \left\{ \Pi^2 \right\}_3 \right\} \quad (8)$$

для третьої секції.

Таблиця 1

Режими роботи і технологічні показники трьох технологічних секцій РЗФ, що працює на фабрику орудкування

Назвапоказника	Секція 1	Секція 2	Секція 3	Секція 1	Секція 2	Секція 3
	Грубі (експертні) оцінки змінних			Адаптовані до типу руди оцінки змінних		
Продуктивність кульового млина т/год $Q_{вх}(t)$	180-250	180-250	180-250	240	245	240
Продуктивність кульового млина т/год $Q_{1C}^{KM_1}$	180-250	180-250	180-250	240	245	240
Продуктивність кульового млина т/год $Q_{1C}^{KM_2}$	180-250	180-250	180-250	240	245	242
Циркуляційне навантаження % $\Pi_{1C}^{KM_1}$	100-150	100-150	100-150	128	130	126
Циркуляційне навантаження % $\Pi_{1C}^{KM_2}$	100-150	100-150	100-150	126	130	126
Масова частка твердого в промпродуктах класифікації г/л $\{\rho_{кл}\}$	1350-1500	1350-1500	1400-1550	1420	1450	1440
Масова частка твердого в зливі класифікатора %	37-47	37-47	42-50	45	44	46
Масова частка класу -0,056 мм в зливі класифікатора % $\beta_{кл-0,056}$	50-60	50-60	46-58	58-60	56-58	58-59
Питома продуктивність млина по знову утвореному класу -0,056 мм т/м ³ год $\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_1}$	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,25	1,35	1,30	1,36
Кількість води, що надходить до млина м ³ /год $W_{вх}^{KM}$	50-80	50-80	50-80	72-74	73-74	72-75
Кількість води, що надходить до класифікатора м ³ /год $W_{вх}^{Kл}$	110-130	110-130	110-130	126	124	128
Масова частка вмісту твердого в розвантаженні млина г/л ρ_{3M}	2000-2200	2000-2200	2000-2200	2100	2150	2160
Масова частка вмісту твердого в розвантаженні млина % ρ_{3M}	68-74	68-74	68-74	72	73	73
Питома продуктивність млина т/м ³ год $\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_2}$	0,8-1,1	0,8-1,1	0,8-1,1	0,95	0,98	1,05
Масова частка заліза в розвантаженні млина II стадії подрібнення % β_{Fe}^2	51,0-60	51,0-60	51,0-60	54-56	55-57	59-60
Масова частка вмісту твердого в зливі гідроциклона Ø710 мм другої стадії подрібнення г/л ρ_{Γ}^2	1130-1190	1130-1190	1130-1180	1170	1160	1178
Масова частка вмісту твердого в зливі гідроциклона Ø710 мм другої стадії подрібнення % ρ_{Γ}^2	15-20	15-20	15-19	18,6	19,2	19,1
Масова частка класу -0,056 мм в зливі гідроциклона % $\beta_{\Gamma(-0,056)}^2$	75-86	75-86	72-80	78-80	82-84	78-80
Тиск на вході в гідроциклон МПа T_{Γ}^2	902,5	902,5	902,5	2,5	2,40	2,48
Циркуляційне навантаження млина другої стадії подрібнення % Π^2	100-150	100-150	100-150	140-142	140-144	140-146
Продуктивність млина третьої стадії т/год Q_{KM}^3	250-350	250-350	180-250	330-340	330-340	220-240
Масова частка вмісту твердого в розвантаженні млина г/л ρ_{KM}^3	2140-2220	2140-220	2140-2220	2200	2200	2180
Масова частка вмісту твердого в розвантаженні млина % ρ_{KM}^3	66-70	66-70	66-70	69	69	68,6
Питома продуктивність млина т/м ³ год $\Pi\Pi_{-0,056}^{KM_3}$	0,26-0,3	0,26-0,3	0,26-0,3	0,29	0,29	0,29
Масова частка загального заліза в розвантаженні млина третьої стадії подрібнення % β_{Fe}^3	61,2-62,4	61,2-62,4	62-66	61,9	62,1	64,8
Масова частка твердого в зливі гідроциклона (ГЦ 71) третьої стадії подрібнення г/л $\rho_{3\Gamma}^3$	1250-1310	1250-1310	1310-1400	1300	1300	1380
Масова частка твердого в зливі гідроциклона (ГЦ 71) третьої стадії подрібнення % $\rho_{3\Gamma}^3$	26-30	30-34	30-34	29	32,6	33,4

Масова частка класу -0,056 мм в зливі гідроциклону ГЦ 71 % $\beta_{-0,056}^3$	94-95	94,5-96	94,5-96	94,8	95,4	95,8
Циркуляційне навантаження % $Ц^3$	100-150	100-150	100-150	136-148	138-146	142-148
Втрати магнетитового заліза в хвостах I стадії збагачення % α_{Fe}^1	1,9-2,35	1,9-2,35	1,8-2,0	2,25	2,25	1,95
Втрати магнетитового заліза в хвостах II стадії збагачення % α_{Fe}^2	1,9-2,0	1,8-2,0	1,8-2,0	1,90	1,90	1,90
Втрати магнетитового заліза в хвостах III стадії збагачення % α_{Fe}^3	1,0-2,0	1,0-2,0	1,0-2,0	1,2	1,2	1,2

На момент контролю $T_1^2(t)$ проміжний продукт другої стадії збагачення буде характеризуватися такими параметрами: масовою часткою загального заліза в продуктах збагачення $\beta_{Fe}^{III_2}$ та втратами магнітного заліза у хвостах другої стадії збагачення $\alpha_{Fe_u}^{III_2}$.

Проміжний продукт другої стадії збагачення надходить на третю стадію подрібнення, класифікації, магнітної сепарації та дешламації, а вихідні параметри концентрату залежатимуть від множини параметрів виду

$$\left\{ \left\{ Q_{KM}^3 \right\}_1, \left\{ \rho_{KM}^3 \right\}_1, \left\{ III_{-0,056}^{KM_3} \right\}_1, \left\{ \beta_{Fe}^3 \right\}_1, \left\{ \rho_{3\Gamma}^3 \right\}_1, \left\{ \beta_{-0,056}^3 \right\}_1, \left\{ Ц^3 \right\}_1 \right\} \quad (9)$$

для третьої стадії першої секції.

$$\left\{ \left\{ Q_{KM}^3 \right\}_2, \left\{ \rho_{KM}^3 \right\}_2, \left\{ III_{-0,056}^{KM_3} \right\}_2, \left\{ \beta_{Fe}^3 \right\}_2, \left\{ \rho_{3\Gamma}^3 \right\}_2, \left\{ \beta_{-0,056}^3 \right\}_2, \left\{ Ц^3 \right\}_2 \right\} \quad (10)$$

для третьої стадії другої секції.

$$\left\{ \left\{ Q_{KM}^3 \right\}_3, \left\{ \rho_{KM}^3 \right\}_3, \left\{ III_{-0,056}^{KM_3} \right\}_3, \left\{ \beta_{Fe}^3 \right\}_3, \left\{ \rho_{3\Gamma}^3 \right\}_3, \left\{ \beta_{-0,056}^3 \right\}_3, \left\{ Ц^3 \right\}_3 \right\} \quad (11)$$

для третьої стадії третьої секції.

На момент контролю $T_1^3(t)$ проміжний продукт третьої стадії збагачення (після п'ятої стадії магнітної сепарації) відповідатиме значенням: масова частка загального заліза $\beta_{Fe}^{III_3} = \{68,0 \div 69,8\}\%$, втрати магнітного заліза у хвостах п'ятої стадії збагачення $\alpha_{Fe_M}^{III_3} = \{1,0 \div 2,0\}\%$, а після процесу дешламації $\alpha_{Fe_M}^{III_3} = \{0,8 \div 1,8\}\%$.

Отже, кожна стадія збагачення характеризується своїм життєвим циклом продукту і в момент $T_1^1(t), T_1^2(t), T_1^3(t)$ відповідає заданим значенням проміжного продукту $П_1, П_2, П_3$, якому відповідають вихідні змінні $\beta_{Fe}^{III}(t), \alpha_{Fe}^{III}(t), \beta_{-0,056}^{III}(t)$ (рис. 2).

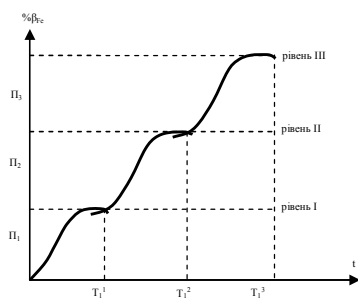


Рис. 2. Життєві цикли проміжних продуктів процесу збагачення в часі

Задачу синтезу управління життєвим циклом продукції зведемо до визначення адаптованого значення грубої експертної оцінки кожного з параметрів (табл. 1) і підтримання їх експертними системами (ЕС) інтегрованої інтелектуальної системи управління технологічними секціями рудозбагачувальної фабрики (РЗФ).

Для одержання адаптованих уточнених змінних використана структура нейро-нечіткої мережі, що представлена на рис. 3, де нейрони першого шару передають вхідний сигнал, виконуючи транзитну функцію.

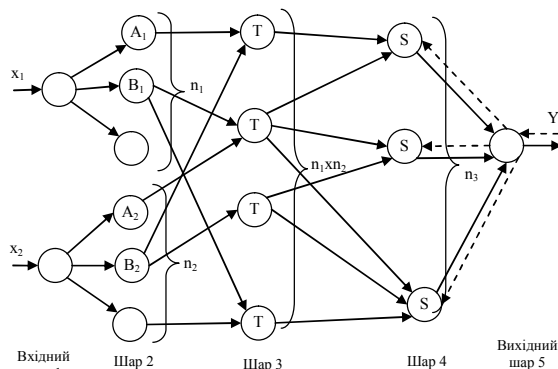


Рис. 3. Структура нейро-нечіткої мережі

Другий шар нейронів виконує операцію фазифікації, моделюючи функцію належності [6]. Отже, він складається із кількості нейронів, які дорівнюють загальному числу нечітко (грубо) визначених нечітких множин, що описують значення параметрів, наприклад:

$$\rho_{K\Gamma_1}^1, \beta_{K\Gamma-0,056}^1, III_{-0,056}^{K\Gamma_1}, \dots$$

Третій шар відповідає за визначення ступеню достовірності правил і складається із $III_1 \times III_2$ нейронів, кожний із яких, у свою чер-

гу, одержує по два вхідних сигнали від нейронів другого шару і реалізує логічну зв'язку «І» за допомогою однієї з функцій, що відноситься до класу t - норм [6].

Призначення третього шару нейро-нечіткої мережі відповідає алгоритму нечіткого виводу [6]. Четвертий шар нейронів відповідає третьому етапу нечіткого виводу та відіграє роль нечіткої операції «АБО». Нейрон вихідного шару разом із вектором вагових коефіцієнтів, які зв'язують його з вихідними сигналами попереднього шару, виконує операцію дефазифікації, визначаючи точне значення параметрів контролю $\rho_{\tilde{E}_i}^1, \beta_{K_{l-0,056}}^1, \Pi_{-0,056}^{K_{l_1}}, \dots$. В табл. 1 (як приклад) для умов РЗФ ПАТ «ЦГЗК» наведено адаптовані значення технологічних параметрів до типів руд, які надходять на збагачення. При цьому момент зміни типу руди визначається розробленими алгоритмами оцінки типу руди в часі на базі мереж Петрі [7].

Розглянута задача інформаційного управління групою технологічних секцій РЗФ має ряд загальних особливостей, що дозволяє ефективно об'єднати засоби їх рішення в єдиній оболонці інтегрованої інтелектуальної системи управління. Структуру такої інтегрованої інтелектуальної системи наведено на рис. 4.

Центральним елементом комплексу є управлінська система, яка складається з динамічної бази оперативних станів і сукупності про-цедур вироблення закону управління.

Дії цих процедур визначаються змістом баз знань БЗ1, БЗ2, БЗ3 для кожної з трьох стадій і кожної з трьох секцій і моделлю, яка описує задану цільову траєкторію керованого збагачувального процесу виробництва концентрату з параметрами $\beta_{\text{Феконц}}$ заданого фабрикою огрудкування.

База БЗ1 містить знання (події) про структуру та постійні властивості об'єктів управління (кульові млини, спіральні класифікатори, магнітні сепаратори, гідроциклони, дешламатори тощо) і середовища, в якому працюють технологічні секції РЗФ.

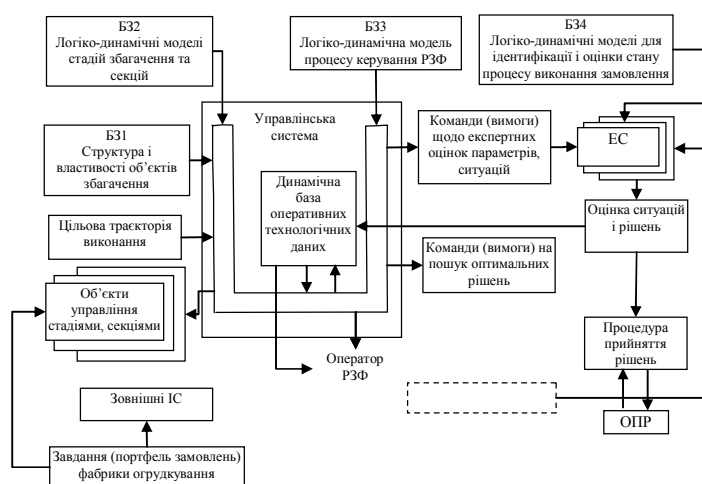


Рис. 4. Структура інтегрованої інтелектуальної системи управління технологічними секціями рудозбагачувальної фабрики (РЗФ)

Цільову траєкторію виробництва концентрату шляхом трансформації властивостей сирової руди з різними характеристиками збагачення і розкриття залізних частинок та одержання в часі проміжних продуктів $\Pi\Pi_1, \Pi\Pi_2, \Pi\Pi_3$ описано математично у вигляді мереж переходів Петрі [7].

Ця база знань є компонентом бази оперативних станів і будується як сукупність об'єктів, що об'єднані у підмножини/класи довільного

складу і ієрархії. Кожний з об'єктів керування характеризується набором параметрів (1-3), (4-6), (3-9) і їх властивостей (див. табл. 1) та визначається протоколом інформаційної взаємодії з системою і/або з іншими системами керування процесами фільтрації та огрудкування.

База знань БЗ2 являє сукупність логіко-динамічних моделей, які описують поведінку в часі підпорядкованих системі дискретних об'єктів управління бункерами та складами РЗФ, дешламаторами, процесом фільтрації тощо. Особливість даної моделі полягає в тому, що для запису результатів дій операторів у загальному вигляді зручно використовувати логіку часу (логіку часових співвідношень).

База знань БЗ3 є логіко-динамічною моделлю процесу управління, яка реалізується інтелектуальною системою, представляє собою сукупність правил, законів і алгоритмів генерації системи на інформацію, яка надходить із датчиків та системи моніторингу змінних параметрів секцій 1,2,3,...

Виконавче оброблююче ядро системи керування є інтерпретатором моделі процесу управління процесом збагачення в АСУТП РЗФ. Ця модель у свою чергу керує роботою виконавчого ядра і задає логіку виконання дій щодо управління параметрами продуктивності кульових млинів третьої стадії збагачення $(Q_{км}^3)_1, (Q_{км}^3)_2, (Q_{км}^3)_3$ і контролю за параметрами $\alpha_{Fe}^1, \alpha_{Fe}^2, \alpha_{Fe}^3$ по кожній із трьох секцій РЗФ.

Структура і організація динамічної бази оперативних станів системи керування тісно пов'язана з оцінкою в часі параметрів траєкторії T_1^1, T_1^2, T_1^3 (для кожної із секцій 1,2,3 РЗФ). Для цього використані програмні засоби (Matlab, Simulink) [8], які дозволяють спочатку на основі описаної вище методики адаптації нечітких оцінок роботи першої стадії збагачення створити навчену нейронну мережу відносно заданих характеристик завантаження кульових млинів першої стадії $Q_{1C}^{KM_1}, Q_{1C}^{KM_2}$, циркуляційного навантаження $Ц_{1C}^{KM_1}, Ц_{1C}^{KM_2}$, параметрів $\rho_{кл1}$ - масової частки твердого у продуктах класифікації, $\beta_{кл-0,056}$ - масової частки класу -0,056 в зливні класифікатора, та прогнозувати за допомогою нечіткої регресійної моделі виду

$$\beta_{Fe}^{III_1} = a_0 + a_1 Q_{1C}^{KM_1} + a_2 \rho_{кл1} + a_3 \beta_{кл-0,056} + a_4 Ц_{1C}^{KM_1} \dots \text{ параметри руху траєкторії } \beta_{Fe}^{III_1}(t_1),$$

$$\beta_{Fe}^{III_1}(t_2), \beta_{Fe}^{III_1}(t_3) \dots \text{ до заданого значення } \beta_{Fe}^{III_{зад}} \text{ в момент часу } T_1.$$

Подібна процедура виконується для другої і третьої стадії збагачення задля прогнозування відповідно параметрів $\beta_{Fe}^{III_2}, \beta_{Fe}^{III_3}$ та їх відхилень від заданих значень $\beta_{Fe}^{III_{зад}}$.

Рівень інтелектуалізації системи управління секціями 1,2,3,... суттєво розширено за рахунок бази знань БЗ4 і експертних систем (ЕС), які спочатку відтворюють грубі нечіткі оцінки управлінських параметрів (див. табл. 1), а потім ці параметри уточнюються у процесі навчання системи і відтворюються у вигляді оптимальних режимів роботи технологічних секцій, стадій залежно від завдань управлінської системи фабрики огрудкування, типів руд, які надходять на збагачення тощо, а отже, і специфічними процедурами оптимального вибору і прийняття рішень.

У межах розробленої автором нечіткої логіко-динамічної моделі управління технологічними секціями РЗФ [1] ЕС самостійно приймає рішення щодо компенсації визначених відхилень від цільової траєкторії β_{Fe} і формує управлінські впливи (завдання) локальним системам керування нижнього рівня управління стадіями збагачення. Під час виникнення складних аномальних явищ (технологічної зупинки кульового млина KM_1 першої стадії збагачення), або проблемної ситуації, пов'язаної зі зміною типу руди, що надходить на збагачення [7], або неможливості виконання значень заданих параметрів Q_{β_0} фабрики огрудкування (власними засобами), управлінська система звертається до зовнішньої дедуктивної ЕС з вимогою дослідити наявні технологічні ситуації та видати діагноз або нові рекомендації щодо стабілізації сумарної продуктивності $Q_{K_1} + Q_{K_2} + Q_{K_3}$ трьох збагачувальних секцій РЗФ.

Висновки. Для умов збагачувальної фабрики, що працює на фабрику огрудкування, і яка переробляє чотири типи руди з різними текстурними характеристиками, розроблена інтелектуальна система узгодженого управління технологічними секціями з постійною адаптацією параметрів керування до типів руди і експертною оцінкою відхилень фактичної траєкторії виробництва концентрату від заданої фабрикою огрудкування.

Апробація запропонованих методів узгодженого інтелектуального управління технологічними секціями збагачувальної фабрики в межах інформаційної системи з експертними системами і нейромережевою оцінкою параметрів управління довела їх адекватність щодо розширення можливості персоналу (ОПР) збагачувальної фабрики виконувати управлінські рішення, пов'язані з керуванням трьохстадійним технологічним процесом виробництва концентрату заданої потужності та якості. Це дозволило автору в подальшому сконцентрувати увагу на розробці програмного забезпечення для інтелектуального керування групою технологічних секцій рудозбагачувальної фабрики ПАТ «ЦГЗК», що працює на фабрику огрудкування.

Список літератури

1. **Хоцкіна В.Б.** Автоматизація процесів керування технологічним комплексом збагачення залізних руд з використанням моделей мереж Петрі : автореф. дис. канд. техн. наук / **В.Б. Хоцкіна**. – Кривий Ріг, 2012. – 19 с.
2. **Хорольський В.П., Хорольський К.Д.** Методологія і методи управління адаптацією інноваційних процесів на підприємствах групи «Метінвест» // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, 2013. – вип. 34. – С. 175-179.
3. **Хорольський В.П.** Адаптивные системы многоуровневого управления технологическими процессами переработки руд : автореф. дисс. докт. техн. наук / **В.П. Хорольський**. – Ленинград, 1989. – 40 с.
4. **Кочура Е.В.** Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энергосбережения : дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук / **Е.В. Кочура**. – Днепропетровск, 1996. – 331 с.
5. **Купін А.І.** Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності : автореф. дис. докт. техн. наук / **А.І. Купін**. – Кривий Ріг, 2010. – 36 с.

6. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебн. в 5-ти томах; [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. – 784 с.

7. **Хорольський В.П., Хоцькіна В.Б.** Адаптивна система оцінки режимів роботи першої стадії збагачення руди на основі мережеских моделей Петрі // Вісник Криворізького національного університету: Кривий Ріг, 2012. – вип. 33. – С. 142-145.

8. **Дорф Р.** Современные системы управления / **Р. Дорф, Р. Бишоп**, [пер. с англ. Б. И. Копылова]. – М. :

Рукопис подано до редакції 19.03.13

УДК 622.625.28

В.В. ПРОЦІВ, д-р техн. наук, проф., Національній гірничий університет

ПРОСТОРОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНОГО ПОЇЗДА ПРИБОРАМИ З ОБМЕЖЕНИМ ФРИКЦІЙНИМ МОМЕНТОМ

У роботі знайдено спосіб отримання динамічних параметрів складних механічних багатомасних систем машин, що просторово рухаються по наперед означених траєкторіях, та мають у своєму складі неголономні зв'язки. Складено розрахункову схему руху шарнірно-зчленованого локомотива із складом навантажених вагонеток по ділянці шахтної рейкової колії із наперед виміряними геометричними параметрами.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок науковими та практичними завданнями. При гальмуванні шахтних і рудникових локомотивів найбільш широко застосовується гальмування з використанням гальмівної сили в точці контакту колеса з рейкою. Для цього використовують колісно-колодкові гальма, дискові осьові (розташовані на осі колісної пари) і трансмісійні (на валу тягового двигуна), а також динамічне гальмування двигуном. Найбільш перспективним з нині існуючих шахтних локомотивів є шарнірно-зчленований електровоз Е10 [1], оснащений усіма перерахованими вище системами гальмування і здатний надійно працювати в умовах шахтної колії з легким баластним шаром і суттєвою недосконалістю в плані та профілі. Але опис руху такої машини із складом навантажених вагонеток виявляється складним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При побудові тривимірної динамічної моделі шахтного шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається по ділянці реальної шахтної колії, із викривленнями в плані і профілі, а також систематичними і локальними (довгі й короткі) недосконалістями, найбільш підходящим можна вважати підхід, заснований на складанні рівнянь Лагранжа другого роду [2]. Однак він базується на припущенні, що всі зв'язки в системі є голономними.

Завдання дослідження полягає у пошуку способу отримання динамічних параметрів складних механічних багатомасних систем машин, що просторово рухаються по наперед означених траєкторіях, та мають у своєму складі неголономні зв'язки.

Мета. Скласти розрахункову схему руху шарнірно-зчленованого локомотива із складом навантажених вагонеток по ділянці шахтної рейкової колії із наперед виміряними геометричними параметрами.

Викладення матеріалу дослідження. Якщо з певною ймовірністю припустити, що всі зв'язки в системі шарнірно-зчленований локомотив - рейкова колія є голономними, то ми отримаємо розрахункову схему його розміщення на колії в режимі вибігу (без тяги і гальмування), що наведена на рис. 1.

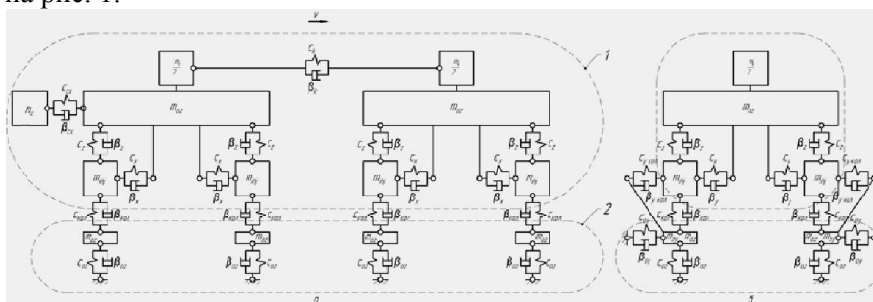


Рис. 1. Розрахункова схема шарнірно-зчленованого локомотива з голономними зв'язками: а - вигляд спереду; б - вигляд зліва