

*А. І. КУПІН*, канд. техн. наук, доцент, Криворізький технічний університет (м. Кривий Ріг)

### **ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА УПРАВЛЯЮЧИХ ПОТОКІВ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ МАГНІТОЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ ГЗК**

Зроблено системний аналіз інформаційних і керуючих потоків в умовах залізородного комбінату. Отримано модель рівнів ієрархії інтелектуальної системи керування ТП.

Сделан системный анализ информационных и управляющих потоков в условиях железородного комбината. Получена модель уровней иерархии интеллектуальной системы управления ТП.

The system analysis information and control flows are made in condition iron-ore complex. There are received models of levels of hierarchy of intellectual system control of TP.

**Вступ, проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сталий розвиток вітчизняної гірничо-металургійної галузі промисловості та її конкурентоздатність в умовах світового ринку на сучасному етапі розвитку безпосередньо залежить від рівня застосування засобів комплексної автоматизації. При чому, загальною тенденцією є постійне ускладнення автоматизованих систем управління за рахунок застосування перспективних технологій штучного інтелекту (нейронні мережі, нечітка логіка, еволюційні алгоритми тощо). Тому у контексті проблеми реалізації інтелектуального управління в умовах технологічного процесу (ТП) збагачення магнетитових кварцитів в умовах рудозбагачувальної фабрики (РЗФ) гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) розглядається питання первинного аналізу системних зв'язків такого об'єкту. Актуальність такого завдання обґрунтовано в [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Для оцінювання ієрархічної структури керування та аналізу залежностей потенційних інформаційних та управляючих потоків і зв'язків в умовах складних технологічних об'єктів зазвичай застосовується алгоритм структурної q-зв'язності, що є однією з найбільш поширених та достатньо добре досліджених якісних характеристик систем [2-5]. Разом з цим застосування подібного підходу в умовах підприємств збагачувальної технології фактично обмежено роботами автора [5] (для вугільної галузі).

**Постановка завдання.** З метою реалізації інтелектуального управління ТП збагачення [1] проведемо симпліціальний аналіз інформаційних та управляючих потоків в умовах РЗФ ГЗК. При цьому також необхідно обґрунтувати кількість рівнів ієрархії для інтелектуальної системи управління (ІСУ) у відповідності існуючим міжнародним стандартам з проектування

подібних систем. У якості типового об'єкту інформатизації будемо розглядати технологічну лінію (секцію) РЗФ.

**Викладення матеріалу та результати.** Для спрощення системного дослідження та виявлення спільності завдань керування окремими стадіями збагачення візьмемо за основу типову технологічну схему ланцюга апаратів секції РЗФ [6] та застосуємо методологію декомпозиції. Спрощена структурна схема технологічної лінії типової РЗФ магнітного збагаченням залізної руди надано на рис. 1 [6].

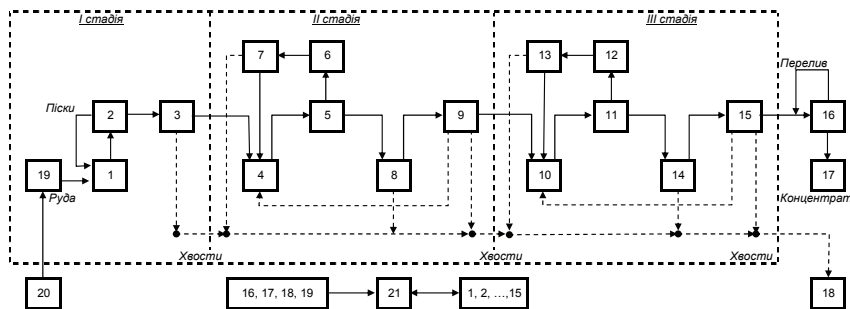


Рис. 1. Спрощена структура технологічної лінії (секції) РЗФ

Блоки мають такі позначення: 1 – шаровий млин (або млини) першої стадії; 2 – спіральний класифікатор; 3, 7, 9, 13, 15 – магнітні сепаратори; 4, 10 – зумпфи; 5, 11 – гідроциклони; 6, 12 – млини 2-ї та третьої стадії (МШЦ, ММС тощо); 8, 14 – дешламатори; 16 – вакуум-фільтр; 17 – склад концентрату; 18 – хвостосховище; 19 – рудний бункер; 20 – завантажувальний пристрій для руди (автостела); 21 – блок контролю та керування ТП.

Отже, згідно [2-3], результуючу матрицю інцидентності  $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|$  (де  $i, j = 1, \dots, 15$  – номери блоків;  $\lambda_{ij} = 1$ , якщо  $i$ -й блок є початком ребра, закінченням якого є блок  $j$ ;  $\lambda_{ij} = 0$ , якщо  $i = j$  або  $i$ -й блок не є початком ребра, закінченням котрого є блок  $j$ ; номери строк відповідають позначенню симплексів) для даного випадку в аналітичному вигляді представлено на рис. 2.

Структурна збитковість матриці оцінюється на основі показника  $R_K$  [3]

$$R_K = \left[ \sum_{i=1}^{21} \sum_{j=1}^{21} \lambda_{ij} \right] \frac{1}{20} - 1 = \frac{65}{20} - 1 \approx 2,25.$$

Оскільки  $R_K = 2,25 > 0$ , то система є зв'язною (без обривів) та має збитковість (тобто потенційно надійна).

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Матриця інцидентності  $\Lambda$

Виконуючі  $q$ -аналіз матриці  $\Lambda$ , шляхом сумування рядків та послідовного групування, отримуємо такі класи еквівалентності:  $Q_{q_c}$  ( $Q_{q_c}$  – кількість симплексів розмірності  $q_c = 0, \dots, 14$ ;  $\{ \}$  у фігурних дужках) позначаються номери  $q$ -зв'язних симплексів):

$$\begin{aligned} Q_{14} &= 1: \{21\}; Q_{13} = 1: \{21\}; Q_{12} = 1: \{21\}; Q_{11} = 1: \{21\}; \\ Q_{10} &= 1: \{21\}; Q_9 = 1: \{21\}; Q_8 = 1: \{21\}; Q_7 = 1: \{21\}; \\ Q_5 &= 1: \{21\}; Q_5 = 1: \{21\}; Q_4 = 1: \{21\}; Q_3 = 3: \{9\}, \{15\}, \{21\}; \\ Q_2 &= 10: \{2\}, \{3\}, \{5\}, \{7\}, \{8\}, \{11\}, \{13\}, \{14\}, \{6\}, \{9, 15, 21\}; \\ Q_1 &= 7: \{1\}, \{4\}, \{6\}, \{10\}, \{12\}, \{19\}, \{2, 3, 5, 7-9, 11, 13-16, 21\}; \\ Q_0 &= 4: \{17\}, \{18\}, \{20\}, \{\text{решта вузлів, без виключення}\}. \end{aligned}$$

Структурний вектор комплексу має такий вигляд:

$$Q_K = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 10, 7, 4).$$

Аналіз вектору  $Q_k$  показує, що він зв'язаний для великих (9,...,14), середніх (4,5,6) та малих (0) значень  $q_c$ . Зокрема, при  $q_c=0, 1, 2, 3$  комплекс розпадається на кілька незв'язних компонентів, що інтерпретується як присутність двох геометричних перешкод у системі [1] або трьох рівнів  $q$ -зв'язних симплексів.

Ієрархічна організація типової структури управління технологічною лінією магнітного збагачення залізної руди в умовах РЗФ (рис. 1) також підтверджується однотипними функціональними характеристиками значеннями максимальної розмірності симплексів (де у фігурних дужках зазначається номер симплексу і потім у круглих – множина блоків, що входять до нього;  $\emptyset$  – пуста множина), які згруповано таким чином:

$$\begin{aligned} q_c = -1 &: \{\emptyset(\emptyset)\}; \\ q_c = 0 &: \{17, (21)\}, \{18, (21)\}, \{20, (19)\}; \\ q_c = 1 &: \{1, (2,21)\}, \{4, (5,21)\}, \{6, (7,21)\}, \\ & \{10, (11,21)\}, \{12, (13,21)\}, \{19, (1,21)\}, \\ q_c = 2 &: \{2, (1,3,21)\}, \{3, (4,18,21)\}, \{5, (6,8,21)\}, \\ & \{7, (4,18,21)\}, \{8, (9,18,21)\}, \{11, (12,14,21)\}, \\ & \{13, (10,18,21)\}, \{14, (15,18,21)\}, \{16, (16,17,21)\}; \\ q_c = 3 &: \{9, (4,10,18,21)\}, \{15, (10,16,18,21)\}; \\ q_c = 14 &: \{21, (1,2,\dots,15)\}. \end{aligned}$$

Аналіз груп малих значень  $q_c$  (-1, 0) показує, що їх зміст можливо трактувати як симплекси, що характеризують вихідні та вхідні продукти переробки (наприклад, блоки: 17 – вміст корисного в концентраті, вихід, вилучення та продуктивність секції; 18 – втрати заліза в концентраті, 20 – кількість мінеральних різновидів у вихідній шихті, первинний вміст заліза, необхідні фізико-хімічні, морфологічні та технологічні властивості руди, гранулометричний склад. Також мале значення  $q_c = 1$  – відбиває режимні і керовані параметри роботи агрегатів подрібнення (млинів) та окремого допоміжного устаткування – зумпфів, бункерів (наприклад, для млинів різних стадій подрібнення це блоки: 1, 6, 12: витрати руди та води, швидкість обертання барабану, ступінь завантаження шарами, рудою чи рудною галькою при самоподрібненні, циркуляційне навантаження, вихід та продуктивність за готовим класом; 4, 10 – рівень пульпи у зумпфах; 19 – ступінь завантаження рудного бункеру). Для груп середніх значень  $q_c$  (2, 3) – симплекси, що містять режимні параметри ТП класифікації, дешламації та магнітної сепарації та відповідні впливи керування (наприклад, блоки: 2 – кут нахилу ванни класифікатора, щільність пульпи в процесі класифікації та на

зливів, вміст або вихід готового чи заданого класу, висота порогу зливу, витрати води, продуктивність за промпродуктом та пісками для спірального класифікатора; 5, 11 – діаметри живильного та зливного патрубків чи піскової насадки тиск пульпи на вході, витрати води, продуктивність, вихід готового чи заданого класу для гідроциклонів; 3, 7, 9, 13, 15 – напруженість магнітного поля, швидкість обертання барабану, щільність пульпи, відстань між барабаном та ванною, продуктивність та якість за промпродуктом чи концентратом на виході, втрати корисного у хвостах, вилучення заліза, вихід концентрату та хвостів для магнітних сепараторів; 8, 14 – загальний обсяг пульпи, грансклад та витрати води на вході, продуктивність за промпродуктом та пісками, вихід готових класів у промпродукті та пісках для дешламаторів; 16 – робочі параметри для вакуум-фільтра); група  $q_c=14$  – симплекс, що складається з одного блоку 21 (дистанційне управління та збір даних в комплексі ТП).

Різні значення максимальних розмірностей симплексів формально відображаються в показнику  $\varepsilon$  рівномірного розподілу зв'язків орієнтованого графу, що має  $m_1$  ребер и  $m_2$  вершин:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{m_2} (\rho_i - \rho_{cp})^2 = \sum_{i=1}^{m_2} \left( \rho_i - \frac{m_1}{m_2} \right)^2,$$

де  $\rho_{cp}$  – середня ступінь вершини [2];

$\rho_i$  – дійсна ступінь  $i$ -ї вершини.

Для моделі технологічної лінії магнітного збагачення РЗФ, що розглядається з урахуванням залежності  $\rho_{cp} = m_1/m_2 = 65/21 \approx 3,1$  отримуємо

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= (2-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + (2-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + (2-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + \\ &+ (3-3,1)^2 + (4-3,1)^2 + (2-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + (2-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + \\ &+ (4-3,1)^2 + (3-3,1)^2 + (1-3,1)^2 + (1-3,1)^2 + (2-3,1)^2 + (1-3,1)^2 + (15-3,1)^2. \end{aligned}$$

Отже, остаточно отримуємо  $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon^2} \approx 12,75$ .

Результат  $R_k > 0$  показує, що топологічна структура секції РЗФ в умовах ГЗК наближається до кільцевого або повного графу [2], але при  $\varepsilon \neq 0$  це не є явно вираженим показником. Порівняльна характеристика різних топологій (послідовна, кільцева, радіальна, деревовидна, повний граф, незв'язна) на підставі  $R_k$  і  $\varepsilon$ , симпліціальний та візуальний аналіз наданої на рис. 1 структури секції РЗФ свідчать, що вона відповідає ієрархічній структурі з кільцевими (зворотними) зв'язками.

Отже, в ієрархічній структурі технологічної лінії (секції) збагачувальної фабрики ГЗК чітко виділяється три взаємодіючих виробничих рівні керування: режимними параметрами (нижній рівень); локальними ТП (середній); комплексом ТП (верхній).

Із застосуванням системного підходу, запропонованого автором [5], для багатостадійного процесу збагачення магнетитових кварцитів (рис. 1) була запропонована структура ієрархічної моделі ІСУ ТП РЗФ, що представлена на рис. 3. Зазначена схема демонструє підпорядкованість окремих підсистем та основні системні зв'язки у складі ІСУ. На рис. 3 прийнято такі умовні позначення:  $(i=1, \dots, N_s)$  – кількість стадій ТП збагачення;  $OY_{ij}$  –  $j$ -й канал управління  $i$ -ї стадії для локальних ТП,  $(j=1, \dots, k_i)$  – кількість каналів управління  $i$ -ї стадії ТП;  $HP_{ij}$  – інтелектуальний нейрорегулятор  $OY_{ij}$ ;  $V_{ij}$  – вектор впливів збурення;  $Y_{ij}$  – вектор вихідних характеристик;  $Y_{ij}^*$  – вектор впливів управління;  $X_{ij}$  – вектор інформаційних параметрів про стан  $OY_{ij}$ ;  $Y_{ij}^3$  – вектор завдань вихідних характеристик (уставок);  $TP_{ij}^*$  – комплекс всіх локальних ТП  $i$ -ї стадії;  $V_i^*$  – вектор впливів збурення  $TP_i^*$ ;  $Y_i^*$  – вектор вихідних характеристик;  $X_i^*$  – вектор інформаційних параметрів про поточний стан комплексу;  $Y_i^{*3}$  – вектор завдань для вихідних характеристик;  $HE_i^*$  – нейрорегулятор (прогнозуюча модель) для  $i$ -ї стадії.

Так для комплексу ТП початкової 1-ї стадії (припустимо, що для ТП подрібнення  $i=1, k_1=2$ ): 1-й канал ( $OY_{11}$ ) – співвідношення «руда-вода»; 2-й канал ( $OY_{12}$ ) – продуктивність млина на виході;  $V_{11} = \{\text{гранулометричний склад вхідного продукту}\}$ ;  $V_{12} = \{\text{фізико-хімічні та петрографічні властивості руди}\}$ ;  $Y_{11}, Y_{12} = \{\text{гранулометричний склад промпродукту, вихід готового класу}\}$ ;  $U_{11} = \{\text{витрати води до млина}\}$ ;  $U_{12} = \{\text{вхідна продуктивність по руді}\}$ ;  $X_{11} = \{\text{вміст твердого у млині}\}$ ;  $X_{12} = \{\text{режимні показники для млина}\}$ . Аналогічно здійснюється формалізація для решти ТП 1-ї стадії (класифікація, магнітна сепарація тощо). Результуючі характеристики для комплексу ТП усієї стадії формуються як  $V_1^* = V_{11} \cup V_{12}$  ( $\cup$  – операція логічного поєднання);  $Y_1^* = \{\text{якість промпродукту, продуктивність стадії}\}$ ;  $X_1^* = X_{11} \cup X_{12}$ .

Верхнім рівнем системи на кожній стадії збагачення в блоці оптимізації здійснюється інтелектуальний аналіз поточного стану об'єкту управління. На підставі аналізу показників усіх стадій збагачення відбувається визначення уставок для систем управління відповідних стадій (середнього рівня). При цьому процес прийняття рішень відбувається шляхом інтелектуальної класифікації або глобальної оптимізації [7].

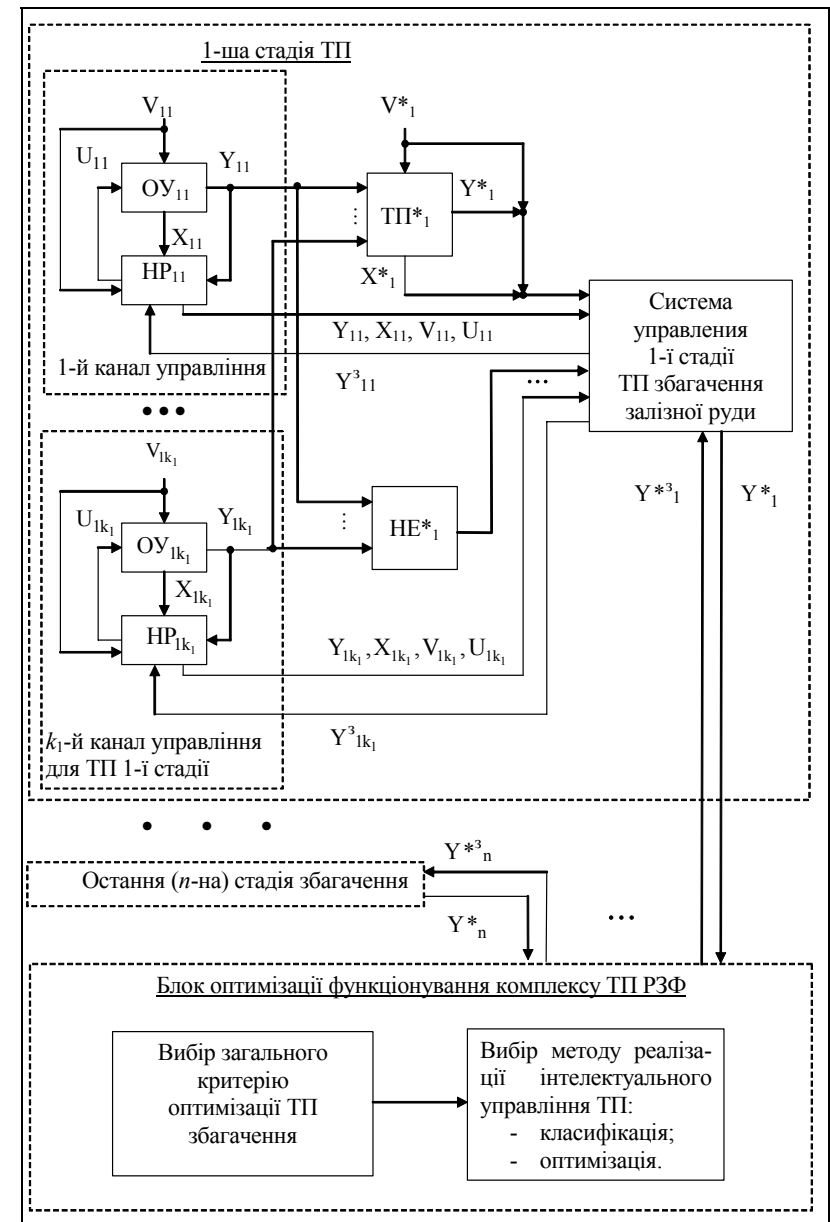


Рис. 3. Схема ієрархічної моделі багатоканальної ІСУ ТП збагачення магнетитових кварцитів

На середньому рівні здійснюється управління комплексом ТП для окремих стадій. Для цього рівень отримує значення оптимальних уставок з верхнього рівня та визначає завдання (доводить ці уставки) для регуляторів всіх локальних ТП та їх відповідних каналів управління кожної стадії збагачення. Із іншого боку системи середнього рівня збирають первинну інформації з підсистем нижнього рівня про стан кожного каналу (керуючі дії, вихід, збурення), здійснюють її первинну обробку, прогнозування значень вхідних та вихідних показників стадії із застосуванням нейроемулаторів ( $HE_i^*$ ). Визначені дані передаються також на верхній рівень для прийняття рішень та визначення оптимальних уставок з метою узгодженого управління всіма стадіями та комплексом ТП збагачення в цілому.

Нижній рівень системи керує окремими локальними ТП кожної стадії. Для цього рівень містить низку (визначену кількість) каналів управління, причому для окремих локальних ТП можуть існувати декілька каналів. Кожен такий канал має власний нейрорегулятор, завданням роботи такого регулятора є – підтримування необхідного значення уставки, що визначено на верхньому рівні системи та отримано із відповідної підсистеми управління конкретною стадією (тобто середній рівень). У свою чергу підсистема нижнього рівня передає спочатку в систему середнього рівня і далі на верхній рівень інформацію про стан кожного каналу (показники керуючих впливів, значення вихідних та інформаційних сигналів, збурення).

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Запропонована структура ієрархічної моделі повністю відповідає загальноприйнятій в цей час концепції комплексної автоматизації промислових виробництв та відомим актуальним стандартам з побудови АСУ ТП (ГОСТ 24.104-85, 24.601-86, 24.602-86, 34.602-89), а також міжнародним: МЕК(IEC)-1131, ISA S88, S95 [7]. Тому основними напрямками подальших досліджень автора є розробка інтелектуальних алгоритмів моделі та їх апробація в промислових умовах вітчизняних ГЗК.

**Перелік літератури:** 1. *Купін А. І.* Обґрунтування використання технологій штучного інтелекту для управління технологічним процесом збагачення магнетитових кварцитів // Вісник КТУ.- Вип.1.-Кривий Ріг: КТУ.-2003.- С.51-55. 2. *Денисов А. А., Колесников Д. Н.* Теория больших систем управления.- Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.- 287с. 3. *Молчанов А. А.* Моделирование и проектирование сложных систем.- К.: Вища школа, 1988.- 359с. 4. Многосвязные системы управления / *М. В. Мееров, А. В. Ахметзянов, Я. М. Берцанский и др.*; Под ред. *М. В. Меерова.* – М.: Наука, 1990. – 264 с. 5. *Зубов Д. А.* Развитие методов и засовів адаптивного автоматизованого керування комплексом технологічних процесів вуглезбагачувальної фабрики: Дис.... д-ра техн. наук: 05.13.07.- Кривий Ріг, 2005.- 534с. 6. *Марюта А. Н.* Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитообогатительных фабриках.- М.: Недра, 1975.- 231с. 7. *Купін А. І.* Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології : Монографія. – Кривий Ріг: КТУ. – 2008. – 204 с.

*Поступила в редколлегию 21.03.09*