

## МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

681.5.015: 622.693.4

### ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННОГО ПІДХОДУ І СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПО СИТУАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ ДЛЯ МЕРЕЖІ ВНУТРІШНЬОФАБРИЧНОГО ГІДРОТРАНСПОРТУВАННЯ

*Л. І. Мещеряков, С. Д. Приходченко*

*ДВНЗ «Національний гірничий університет»,  
49027, м. Дніпропетровськ, просп. Д. Яворницького, 17*

*При контролі стану системи гідротранспорту гірничо-збагачувального підприємства можливе отримання неповної інформації про об'єкт. Для аналізу неповних повідомлень можливо застосування теоретико-множинного підходу і ситуаційної моделі управління. Метою роботи є створення моделі на основі теоретико-множинного підходу і ситуаційної моделі управління стосовно до системи внутріфабричного гідротранспортування для прийняття управлінських рішень в умовах інформаційної невизначеності. В результаті була запропонована відповідна модель, що одержала практичне застосування і позитивні результати.*

*Ключові слова: гідротранспорт, теоретико-множинний підхід, ситуаційна модель, інформаційна невизначеність, управління.*

*При контроле состояния системы гидротранспорта горно-обогатительного предприятия возможно получение неполной информации по объекту. Для анализа неполных сообщений применим теоретико-множественный подход и ситуационная модель управления. Целью работы является создание модели на основе теоретико-множественного подхода и ситуационной модели управления применительно к системе внутрифабричного гидротранспортирования для принятия управляющих решений в условиях информационной неопределенности. В результате была предложена соответствующая модель, получившая практическое применение и положительные результаты.*

*Ключевые слова: гидротранспорт, теоретико-множественный подход, ситуационная модель, информационная неопределенность, управление.*

*When monitoring the system status hydraulic transport of ore mining on the processing enterprise may receive incomplete information on the project. For the analysis of under-reporting is applicable set-theoretical approach and case management model. The aim is to create a model based on the set-theoretic approach and situational management model as applied to the system indoor hydrotransportation for making management decisions in the conditions of information uncertainty. As a result, the corresponding model was proposed, and practical application of positive results was received.*

*Keywords: hydraulic transport, set-theoretic approach, situational model, information uncertainty, management.*

**Вступ.** Технологічний процес гідротранспортування має велику кількість інформаційних параметрів, аналіз яких ускладнений зважаючи на велику кількість розглянутих раніше елементів, станів і їх ознак.

**Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій.** В даний час в умовах постійного подорожчання енергоносіїв, на будь-якому виробництві виникає завдання зниження енерговитрат, вирішення якого можливе або шляхом впровадження нових більш економічних

агрегатів, або модернізації систем діагностики та управління існуючих агрегатів, що підвищують економічність. Великою мірою вищесказане відноситься до гірничо-металургійного виробництва, на частку якого в Україні в 2010 році припадало 22,8% всієї електроенергії споживаної всередині країни. При цьому від 40% до 70% собівартості переробки мінеральної сировини припадає на системи транспортування підприємств гірничо-збагачувальної галузі. Таким чином, завдання зниження енерговитрат при гідротранспортування матеріалів всередині

підприємства є однією з найбільш важливих завдань сучасного гірничо-збагачувального комплексу зокрема, і України в цілому.

Моніторинг стану експлуатаційних характеристик шламових насосів, широко застосовуваних при збагаченні гірських порід, здатний дати економію споживаної енергії від 9 до 21%, де верхня межа зумовлена конструктивними доробками, а нижній - обумовлений своєчасним і повним обслуговуванням насосних агрегатів.

В даний час контроль стану системи гідротранспортування здійснюється оператором, який приймає рішення по управлінню процесом гідротранспортування спираючись на свідчення вторинних приладів. Зважаючи на великий обсяг первинної інформації оператору складно своєчасно комплексно оцінити поточну ситуацію, що, найчастіше, приводить до істотного запізненні в прийнятті ним рішень. Особливо критичним до запізнювання прийняття рішень є аварійні і аварійні ситуації вузлів системи гідротранспорту.

У зв'язку з вищевикладеним, актуальним завданням є розробка комплексних методик контролю і діагностики стану системи гідротранспорту, що включають як статистичні спектральні методи аналізу, так і елементи штучного інтелекту, які дозволяють побудувати систему підтримки прийняття рішень для систем внутріфабричного гідротранспорту, що підвищує ефективність роботи систем гідротранспорту.

Завданням системи підтримки прийняття рішень, яка контролює технологічний процес внутріфабричного гідротранспортування пульпи, є технічне і технологічне діагностування об'єкта, протоколювання його роботи і комунікації з оператором, забезпечення підвищення продуктивності праці диспетчерської служби, достовірності її рішень і керуючих дій.

Для розробки системи гідротранспортної мережі гірничо-збагачувального підприємства визначені принципи функціонування і аналізу подібної системи. Як було показано попередніми дослідженнями [1, 2], для контролю стану гідротранспортної системи можливе використання аналізу енергоінформаційних сигналів в сукупності з аналізом показників датчиків стану пульпи.

**Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми.** При контролі стану об'єкта можлива ситуація при якій ймовірно отримання уривка вхідного повідомлення. Для вирішення завдання аналізу поточного стану об'єкта досліджень запропоновано використовувати теоретико-множинний підхід, а також доцільно перейти до задачі управління

складним об'єктом по ситуаційної моделі прийняття управлінських рішень [3, 4].

**Мета роботи.** Мета роботи полягає в створенні моделі на основі теоретико-множинного підходу і ситуаційної моделі управління стосовно до системи внутріфабричного гідротранспортування для прийняття управлінських рішень в умовах інформаційної невизначеності.

**Основний матеріал дослідження.** Теоретико-множинний підхід передбачає аналіз множин інформаційних повідомлень, об'єктів і т.п. з точки зору їх кількісних ознак. Зміст пошуку якісного аспекту інформації полягає в тому, щоб виділяти, вивчати і досліджувати характеристики безлічі повідомлень в зв'язку з якісними моментами складових його частин. Об'єктом спостереження є технологічний процес гідротранспортування, що включає в себе в якості підоб'єктів системи гідротранспорту і транспортується пульпу, а також безліч відібраних для спостереження параметрів процесу і підоб'єктів. Кожному з властивостей об'єкта призначається змінна, за допомогою якої підсумовується зміна проявів властивості. Безлічі спостережуваних проявів властивості внутрішньофабричної гідротранспортної системи (ВГТС) ставиться у відповідність безліч значень змінної.

$D: S_i = [S_{i,j}, j=\{1, N\}] \rightarrow X_i = [X_{i,j}, j=\{1, N\}], (1)$   
де  $S_i$  —  $i$ -та властивість,  $X_i$  — змінна.

Уявімо процес гідротранспортування у вигляді множини:

$$S = (X, T, R, Z), (2)$$

де  $X$  - множина змінних властивостей процесів,  $T$  - множина параметрів,  $R$  - відносини на множині  $X$  і  $T$ ,  $Z$  - мета досліджень. Як  $Z$  визначимо критерій «функціонування в працездатному стані».

Множина моментів часу  $t$ , в яких розглядається функціонування системи, позначимо як  $T$ ,  $t \in T$ . Визначимо функціонування системи в неперервному часу.

Припустимо, що вхідний сигнал  $X_1 \in X_i$ , где  $X_i$  - задані множини ( $i = 1, n$ );  $x_0 \in X_i$ , где  $x_0$  - відсутність сигналу в момент  $t$ .

Розглядаючи відображення  $x=K(t)$ , що з'являє кожному  $t \in T$  деякий сигнал  $x \in X$  (відображення  $f: T \rightarrow X$ ), прийемо  $T^K$  як множина моментів часу  $T^K \subset T$ , таке, що для кожного  $t \in T^K$  справедливо  $K(t) \neq x_0$ . Прийемо, що  $x=K(t)$  - вхідний процес системи, а сукупність упорядкованих пар  $(t, x)$  для всіх  $t \in T^K$  (где  $x=K(t)$ ) - вхідне повідомлення. В цьому випадку для завдання конкретного вхідного процесу  $x = K(t)$ , достатньо вказати відповідне йому Вхідне повідомлення  $(t, X_K)_T$ .

Для кінцевої множини  $T^K \cap (t_1, t_2]$ , наприклад  $t_1, t_2, \dots, t_k$ , вхідне повідомлення має вигляд  $(t_1, x_1; t_2,$

$x_2; \dots; t_k, x_k)$ . Тоді сукупність упорядкованих пар  $(t^*, x^*)$ , можна розглядати як уривок  $(t, xl|t1t3$ , деякого повідомлення  $(t, xl-|t$ , що утворився в результаті з'єднання уривків  $(t, X K1|t3$  и  $(t, xK2|t3t2$ . Зчленування будь-якого числа уривків вхідних повідомлень з множини  $\{(t, xl|t\}$  являє собою уривок деякого вхідного повідомлення, що належить цій множині.

Позначимо вихідні сигнали  $y \in Y$ , де  $Y$  — множина вихідних сигналів системи. Вихідний сигнал, який видає система в момент часу  $t \in T$ , позначається  $y(i)$ . Якщо вихідний сигнал  $y$  описується набором характеристик  $y_1, y_2, \dots, y_m$ , таких, що  $y \in Y_j, j=1, m, Y_j$  — задані множини, то прямий добуток  $Y=Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_m$  є простором вихідних сигналів системи. За аналогією з вхідним процесом позначимо вихідний процес  $y=O(t)$ , а також визначимо вихідне повідомлення  $(t, y_0)_T$  та його уривок  $(t, y_0|t_1^2$  на півінтервалі  $(t_1, t_2]$ . В цьому випадку для системи  $S$  множини її станів  $St$  називають множиною або об'єктом глобальних станів системи, якщо функція  $R: (X \times St) \rightarrow Y$  така, що

$$(x, y) \in S \Rightarrow (\exists) [R(x, y) = y]. \quad (3)$$

Тоді елементи множини  $st \in St$  є глобальними станами системи, а  $R$  називається глобальною реакцією системи  $S$ .

Стосовно до ВГТС, в якості вхідних сигналів визначимо такі як: показання щільності пульси (P) і положення регулюючої заслінки (Zs) на вході в ВГТС, а в якості вихідних - значення амплітуд нормованого спектра споживаної миттєвої активної потужності (СМАП) приводного електродвигуна шламового насоса (PS), взяті на інтервалі 0-250 Гц. Як обмеження приймемо такі  $z$ , в яких  $x$  або  $y$  приймають заборонені значення, перераховані в джерелах [2,5].

У разі отримання уривка вхідного повідомлення доцільно перейти до задачі управління складним об'єктом по ситуаційній моделі прийняття керуючих рішень. В цьому випадку формальна постановка задачі буде визначена як

$$Z_i; D_i \xrightarrow{U_k} D_j \quad (4)$$

де  $Z_i$  — поточна повна ситуація,  $D_i, D_j$  — ситуації,  $U_k$  — керуючий вплив.

Поточна ситуація, що виникла в момент часу  $\tau$ , описується теоретико-множинним способом наступним чином

$$D_\tau = \{ Z_\tau, PS_\tau, Op_\tau, Mon_\tau, HS_\tau \} \quad (5)$$

де  $Op_\tau$  — дії оператора в даний момент часу;  $Mon_\tau$  — стан системи моніторингу в даний момент часу,  $HS_\tau$  — стан елементів системи гідротранспортування.

Слід врахувати, що опис 5 є загальним, а для опису взаємодії об'єктів і суб'єктів предметної області застосовуються псевдофізичні логіки (ПФЛ), що описуються за

допомогою мови ситуаційного управління (мсу), до яких можна віднести тимчасові логіки, логіки дій, просторові логіки і т. п. Згідно з методологією ситуаційного управління, основною одиницею мсу є проста ядерна конструкція - трійка виду  $(xry)$ , де  $x$  і  $y$  - поняття,  $r$  - відношення або дію.

Приймемо

$$B = \{ b_1, \dots, b_n, \mu_b(b_1), \mu_e(b_1), \dots, \mu_b(b_n), \mu_e(b_n) \}$$

де  $B$  — множина подій,  $b_i$  — власне подія,  $\mu_b(b_i)$  и  $\mu_e(b_i)$  — маркери початку та кінця події  $b_i$ ;

$$R = \{ r_{11}, r_{12}, \dots, r_{kp} \}$$

де  $R$  — множина відношень між подіями;

$$T = \{ t_1, t_2, \dots, t_m, \dots \} \quad t_1 < t_2 < \dots < t_{m-1} < t_m < \dots,$$

де  $T$  — множина моментів часу на відносній шкалі часу.

Виходячи з наведеного, предметну область можна представити у вигляді багаторівневої середовища, що складається з множини елементів предметної області, множини функцій і методів, які працюють на цих елементах і множини властивостей елементів і відносин між елементами, т. Е. У вигляді онтології, яка включає в себе опис властивостей предметної області і взаємодії об'єктів на деякій формальній мові, що має логічну семантику. Якщо система складна, число чинників велике, то облік всіх її характеристик (компонент) призводить до надзвичайної складності. Тому в модель доводиться вводити лише обмежене число, а що залишилися компоненти враховувати, явно не вводячи в модель, але з огляду на їх вплив як нечітку реакцію моделі на той чи інший вибір альтернативи. Очевидно, що алгебраїчне порівняння компонент неможливо і може бути виконано із застосуванням методів нечіткої логіки

Базуючись на запропонованому методі формування структури інформаційної системи у вигляді сукупності взаємодіючих семантично певних і формалізованих об'єктів, пов'язаних між собою ієрархічними відносинами класів атрибутів визначають їх бізнес-процесів, найбільш доцільно використовувати в якості вимірювань при побудові куба множин, отриманих згідно правил перекриття взаємодіючих об'єктів обліку. Таблиця фактів при цьому буде містити цілочисельні колонки, що дають числову характеристику кожного, визначеного таким чином вимірювання, і кілька цілочисельних колонок - ключів для доступу до таблиць вимірів, які їх розшифровують. Для кожного вимірювання складаємо список унікальних значень з елементів, що зберігаються в стовпцях і виробляємо попереднє агрегування фактів для записів, що мають однакові значення розмірностей. Використовуючи проміжні таблиці (так звані

крос таблиці) можна пов'язати елементи різних таблиць між собою, для чого кожного запису в таблицях вимірів поставити у відповідність список, елементами якого будуть номери фактів, при формуванні яких використовувалися ці вимірювання. Для фактів відповідно кожного запису поставимо у відповідність значення координат, за якими вона розташована в гіперкубе. Вимірювання мають ієрархічну структуру, що складається з одного або декількох рівнів, на підставі якої здійснюються операції згортки або деталізації.

Йдучи до цієї термінології, запропоновано наступний опис ситуації «Прогин валу». Введемо такі умовні позначення:

$b_1^{HS}$  - прогин валу;

$b_2^{HS}$  - підвищена вібрація агрегату;

$b_3^{HS}$  - перегрів підшипників;

$b_4^{HS}$  - недостатній тиск;

$b_5^{HS}$  - зачіпання рухомими елементами нерухомих;

$b_6^{HS}$  - вихід підшипників з ладу;

$b_7^{Mon}$  - збільшення амплітуди спектральної складової СМАП електродвигуна насоса на частоті обертання валу;

$b_8^{Mon}$  - збільшення амплітуди спектральних складових СМАП електродвигуна насоса на частотах, кратних частоті обертання валу;

$b_9^{Mon}$  - перевищення гранично допустимої амплітуди спектральної складової СМАП електродвигуна насоса на частоті обертання валу;

$b_{10}^{Mon}$  - перевищення гранично допустимої амплітуди спектральних складових СМАП електродвигуна насоса на частотах, кратних частоті обертання валу;

$b_{11}^{Op}$  - відключення системи;

$b_{12}^{Op}$  - продовження функціонування системи до кінця зміни.

Даний процес в термінах мсу записується

$$V_{ms} = (b_1^{HS} r_6 b_2^{HS}) \cup (b_1^{HS} r_6 b_3^{HS}) \cup (b_2^{HS} r_6 b_4^{HS}) \cup (b_2^{HS} r_6 b_5^{HS}) \cup (b_3^{HS} r_6 b_6^{HS}) \cup (b_3^{HS} r_6 b_8^{Mon}) \cup (b_3^{HS} r_6 b_6^{Mon}) \cup (b_2^{HS} r_6 b_9^{Mon}) \cup (b_8^{Mon} r_6 b_{12}^{Op}) \cup (b_7^{Mon} r_6 b_{12}^{Op}) \cup (b_9^{Mon} r_6 b_{11}^{Op}) \cup (b_{10}^{Mon} r_6 b_{11}^{Op})$$

Також, докладно тієї ж термінології, запропоновано наступний опис ситуації «Знос

роликів підшипників». Введемо такі умовні позначення:

$b_{12}^{HS}$  - знос роликів підшипників;

$b_2^{HS}$  - підвищена вібрація агрегату;

$b_3^{HS}$  - перегрів підшипників;

$b_6^{HS}$  - вихід підшипників з ладу;

$b_{13}^{Mon}$  - збільшення амплітуди спектральної складової СМАП електродвигуна насоса на частоті обертання роликів;

$b_{14}^{Mon}$  - перевищення гранично допустимої амплітуди спектральних складових СМАП електродвигуна насоса на частотах, кратних частоті обертання роликів;

Такий процес в термінах мсу записується

$$V_{ms} = (b_{12}^{HS} r_6 b_2^{HS}) \cup (b_{11}^{HS} r_6 b_3^{HS}) \cup (b_2^{HS} r_6 b_4^{HS}) \cup (b_3^{HS} r_6 b_6^{HS}) \cup (b_{13}^{HS} r_6 b_8^{Mon}) \cup (b_3^{HS} r_6 b_{10}^{Mon}) \cup (b_{14}^{HS} r_6 b_7^{Mon}) \cup (b_9^{Mon} r_6 b_{11}^{Op}) \cup (b_{10}^{Mon} r_6 b_{11}^{Op})$$

Аналогічним чином були описані інші аварійні ситуації, викладені в попередніх роботах даної тематики [2,5].

Для дослідження було обрано модель опису станів процесу гідротранспортування і системи гідротранспортування в термінах теоретико-множинного підходу з заданими структурними властивостями:

1. Визначено необхідна номенклатура процесу гідротранспортування і структура зв'язків для організації всебічного контролю процесу гідротранспортування на гірничо-збагачувальному підприємстві.

2. При дослідженні типової структури процесу гідротранспортування, були досліджені правила декомпозиції і композиції для формування структур нових складних процесів.

3. Розроблено структуру інформаційної підсистеми підтримки прийняття управлінських рішень за допомогою системи ситуаційного управління.

### Література

1. Приходченко С. Д. Анализ современных моделей гидротранспортных систем / С. Д. Приходченко // Гірничая електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ: НГУ, 2007. – Вип. 78. – С. 56-62
2. Приходченко С. Д. Определение причинно-следственных связей диагностических параметров и состояний системы внутризаводского гидротранспорта / С. Д. Приходченко // Матеріали VIII міжнародної конференції «Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості». – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С. 322-326.

3. Махоротов С. Д. Математические основы искусственного интеллекта теория LP-структур для построения и исследования моделей знаний производственного типа. / под ред. Васенина В. А. – М.: Издательство МЦНМО, 2009. – 304 с.

4. Романчук В. А. Алгоритмы теоретико-множественного анализа сложных вычислительных систем на базе нейропроцессоров. автореф. дис....канд. техн. наук: 05.13.01 – Рязань.: Издательство РГРУ, 2009. – 17 с.

5. Мещеряков Л. И. Идентификация диагностических параметров и состояний системы внутризаводского гидротранспорта / Л.И. Мещеряков, С. Д. Приходченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 101. – С. 211-216.

6. Желдак Т. А. Критерии оценки и статистическая обработка результатов диагностики состояния систем гидротранспортирования / Т. А. Желдак, С. Д. Приходченко // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – Вип. 89. – С. 83-87.

**Поступила в редакцію 18.05.2016 р.**

**Рекомендували до друку:  
докт. техн. наук, проф. Горбійчук М. І.,  
докт. техн. наук, проф. Юрчишин В. М.**