

координат. Пропонована методика дозволяє підвищувати точність визначень деформацій та прогнозування їх розвитку. Ці дані використовуються при розробці заходів з охорони навколишнього середовища, будівель та споруд.

#### Список літератури

1. Долгих Л.В., Долгих О.В. Дослідження території зони провалля від шахти ім. Орджонікідзе //Збірник наукових праць „Вісник Криворізького технічного університету”. - Кривий Ріг: КТУ. Вип. 27, 2011. с. 70-73.
2. Долгих А.В. Преобразование маркшейдерских данных для моделирования нейросетевыми методами. / Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ. – 96, 2013. – С. 85-89.
3. Федоренко П.И., Долгих А.В. Применение новых технологий при маркшейдерском обслуживании горных предприятий // Разработка рудных месторождений.-Вип. 82.- Кривой Рог: КТУ.- 2003.- С. 68-72.
4. Долгих А.В., Долгих Л.В. Использование нейронных сетей при исследовании земной поверхности, подработанной подземными горными работами. Сборник научных трудов «Качество минерального сырья». Кривой Рог, 2014.; Издательство «Дионат» (ФЛ-П Чернявский Д.А.). – С. 387-392.
5. Сазонов В.А. «Исследование вопросов подземной подработки карьеров и выбор способов наблюдений за устойчивостью их поверхности» Автореферат кандидатской диссертации. – КГРИ. – Кривой Рог, 1969.
6. Сероштан В.С. Зависимость времени стояния кровли от площади ее обнажения. – «Горный журнал», 1974, №12. С. 42-44.
7. Грищенкова, Е.Н. Обоснование условий использования электронных тахеометров для инструментальных наблюдений на маркшейдерских наблюдательных станциях / Е.Н. Грищенкова // Проблемы недропользования: Сборник научных трудов. Часть I. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб, 2014. – С. 157-159.
8. Божко В.Г., Гринюк Б.О., Чирва О.І. Використання електронних приладів при спостереженні за деформаціями поверхні та стійкістю об'єктів технологічного комплексу гірничовидобувних підприємств Кривбасу//Вісник Криворізького технічного університету. - 2005. - №7. - С. 65-67.
9. Божко В.Г., Гринюк Б.А., Чирва А.И. Использование GPS-системы для привязки опорных реперов наблюдательных станций // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг. - 2007.
10. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений – М.: Недра, 1988. – 112 с.

Рукопис подано до редакції 20.04.16

УДК 622.34: 550.343.6

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

### МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЯДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РУДИ І КОРИСНОЇ КОПАЛИНИ У РУДНІЙ СИРОВИНІ

Виконано стохастичне моделювання відосблених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині родовища, покладу, рудного тіла або дільниці залістистих кварцитів. Відмічено, що основними перевагами стохастичних моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині є їх високі адаптивні властивості, точність прогнозування, а також можливість моделювання нестационарних динамічних рядів. Розглянуто методику моделювання взаємозалежних динамічних рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Уявлення про гірничодобувне виробництво як динамічної системи і облік залежностей між об'ємно-якісними показниками окремих рівнів рудопотоків, пов'язаних гірничотехнологічними процесами, дозволило узагальнити методи прогнозування відосблених рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині на взаємозалежні. Успішне вирішення теоретичних питань у цій області, дозволило зменшити труднощі практичної реалізації методу, які обумовлені складністю оцінки параметрів таких багатовимірних моделей і інтерпретації результатів моделювання. Виконаний аналіз використання багатовимірних моделей на великому фактичному матеріалі дає позитивні результати. Розглянуто два підходи, які доцільно використати для моделювання взаємозалежних динамічних рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Виконанні дослідження у значній мірі розширюють можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудопотоках і дозволяють вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики на періодах управління перевищуючи оперативні, істотно підвищуючи при цьому точність прогнозування. Видано рекомендації стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Побудова стохастичних моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині динамічних рядів і їхнє використання для прогнозування базується на методах аналізу тимчасових рядів. Найбільш завершений - метод Бокса-Дженкінса [4]. Основними перевагами стохастичних моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині є їх високі

адаптивні властивості, висока точність прогнозування, а також можливість моделювання не-стаціонарних динамічних рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Досягається це за рахунок більш ефективного статистичного аналізу інформації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У методі Бокса-Дженкінса стохастична модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині будується або за вихідними даними  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , або по перетвореними (якщо ряд не є стаціонарним). У загальному випадку рівняння моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині має вигляд

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \dots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

де  $X_t = C_t - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$ ;  $\{\varphi_i\}$  - параметри авторегресії;  $\{\theta_i\}$  - параметри ковзного середнього;  $\varepsilon_t$  - «білий шум» з постійною дисперсією.

Обчислювальний процес моделювання динамічного ряду процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині пов'язаний з визначеннями величин  $p$  і  $q$  (ідентифікація моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині), оцінювання параметрів моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $\{\varphi_i\}$  в  $\{\theta_i\}$  і діагностичної перевірки моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині на адекватність. Послідовність обчислювальних процедур при стохастичному моделюванні динамічного ряду процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині наведена на рис. 1.

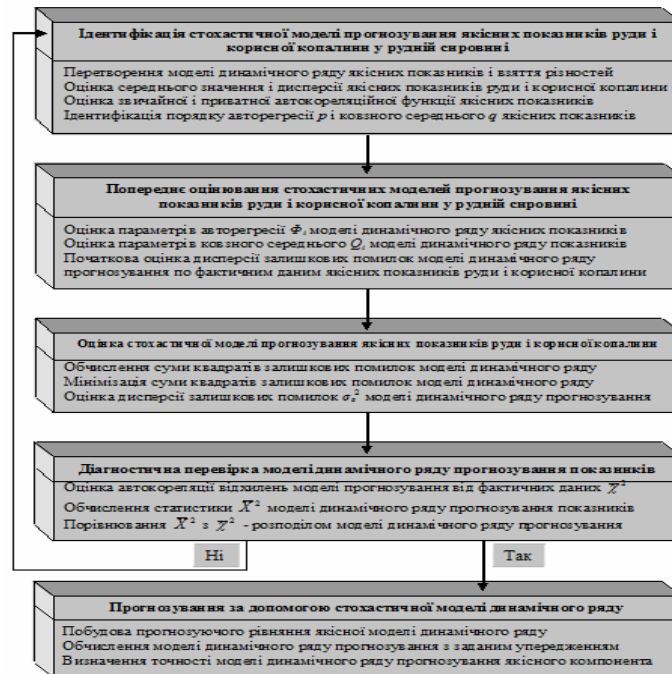


Рис. 1. Блок-схема побудови стохастичної моделі динамічного ряду формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині

Основним інструментом для ідентифікації моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині служать автокореляційна і частинна автокореляційна функції. Теоретичні властивості автокореляційної функції процесу конкретного виду дозволяє ідентифікувати порядок ковзного середнього  $q$ . Аналогічним чином ідентифікується порядок авторегресії  $p$  виходячи з властивостей частинної автокореляційної функції [1-3].

**Постановка завдання.** Оцінювання стохастичної моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині здійснюється у два етапи. Спочатку знаходимо початкові оцінки параметрів авторегресії і ковзний середнього незалежно один від одного. При цьому початкові оцінки параметрів  $\Phi_i$  визначаються з рівнянь Юла-Уоркера [4]. Параметри ковзного середнього  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  знаходимо за допомогою простої ітеративної процедури.

**Викладення матеріалу та результати.** Початкові оцінки параметрів стохастичної моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині є досить наближеними. Остаточне оцінювання моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, що приводить до більш точного прогнозування, здійснюється за допомогою мінімізації суми квад-

ратів розбіжностей між реальними членами динамічного ряду процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині і їхніх прогнозів, які зроблено на попередньому кроці. Мінімум цієї суми визначає «справжні» значення параметрів моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Для змішаної моделі АРКС ( $p, q$ ) маємо

$$S(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q) = \sum_{t=M}^n \tilde{\varepsilon}_t^2 = \min \quad (2)$$

$$\text{де } \tilde{\varepsilon}_t = X_t - \sum_{l=1}^p \Phi_l X_{t-l} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}.$$

Для знаходження мінімуму функції  $S$  розроблені різні методи. У найпростішому випадку ( $p=0$ ;  $1$  і  $q=0$ ;  $1$ ) мінімум найпростіше знайти графічно. Для моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині більш високого порядку скористаємося алгоритмом Марквардта для нелінійного методу найменших квадратів або для однієї з його модифікацій [5-7]. Після того як знайдено оцінки параметрів моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, що забезпечують мінімальні похибки прогнозування (у середньому), рівняння моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині використовується для прогнозування.

Підібрана модель виявляється неадекватною реального динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Це обумовлено звичайно неправильною ідентифікацією порядків моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $p$  і  $q$  або не стаціонарністю вихідних даних. Останнє знаходиться по поводженню автокореляцій. Якщо автокореляції мають тенденцію зберігати постійні значення (необов'язково високі), то тимчасовий ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині, який досліджується не є стаціонарним. У цьому випадку тимчасовий ряд необхідно перетворити, взявши перші різниці, а при необхідності і різниці більш високого порядку, тобто перейти до нового тимчасового ряду якості руди і корисної копалини в рудній сировині

$$W_t = C_t - C_{t-1}, t = 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

Модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині різницевого ряду називається змішаною моделлю авторегресії проінтегрованого ковзного середнього і позначається АРПКС ( $p, d, q$ ), де  $d$  - порядок взяття різниць. Як показують чисельні розрахунки по сотнях динамічних рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині для родовища, покладу, рудного тіла або дільниці корисної копалини, порядки моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $p$  і  $q$  часто не перевищують 2, а порядок взяття різниць  $d$  дорівнює 0 або 1. Перевірка адекватності знайденої моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині здійснюється за допомогою діагностичних перевірок, що використовують статистику  $X^2$ . Якщо діагностична перевірка приводить до неадекватності моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, необхідно повторити процес оцінювання, змінивши порядок моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині. При використанні комп'ютерних технологій для знаходження параметрів моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині процедура оцінювання може бути спрощена. Враховуючи, що  $p \leq 2$  і  $q \leq 2$ , можна послідовно оцінити параметри конкуруючих моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині з різними  $p$  і  $q$  і вибрати ту з них, для якої  $S$  [див. (2)] мінімальна. Потім варто здійснювати діагностичну перевірку тільки для цієї моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині.

Розглянемо декілька конкретних прикладів, що ілюструють методику послідовних операцій ідентифікації моделей відособлених рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині, визначення центрованої постійної стохастичної моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині і розрахунку прогнозних оцінок якості. Уявлення про гірничодобувне виробництво як динамічної системи і облік залежностей між об'ємно-якісними показниками окремих рівнів рудопотоків, пов'язаних гірничо-технологічними процесами, дозволяють узагальнити методи прогнозування відособлених (ізолюваних) рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині на взаємозалежні. Незважаючи на успішне вирішення теоретичних питань у цій області, залишаються ще труднощі практичної реалізації методу. Вони обумовлені складністю оцінки параметрів таких багатовимірних моделей і інтерпретації результатів моделювання. Однак аналіз використання багатомірних моделей на великому факти-

чному матеріалі дає обнадійливі результати. Зупинимося на двох підходах, які доцільно використати для моделювання взаємозалежних динамічних рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині. Перший з них пов'язаний з побудовою адаптивних моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині множинної регресії, другий - з побудовою дискретних лінійних моделей передаточних функцій, що використовують ідеї метода Бокса-Дженкінса [4]. Побудова адаптивних моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині множинної регресії базується на припущенні про лінійну залежність ряду  $\{Y_t\}$ , що досліджується з рядами  $\{X_{1,t}\}, \{X_{2,t}\}, \dots, \{X_{M,t}\}$ , причому коефіцієнти зв'язку не є постійними. Припустимо, що прогнозування на момент часу  $t+\tau$  здійснюється за допомогою рівняння множинної регресії

$$\tilde{Y}_{t+\tau} = \lambda_{1,t} X_{1,t} + \lambda_{2,t} X_{2,t} + \dots + \lambda_{M,t} X_{M,t}. \quad (4)$$

Коректування вагових коефіцієнтів  $\lambda_{i,t}$  можна здійснювати за тим же правилом, що використали в методі адаптивної авторегресії

$$\lambda_{i,t} = \lambda'_{i,t} + 2k\varepsilon_{t+\tau} X_{i,t} \quad (i=1,2,\dots,M),$$

де  $\varepsilon_{t+\tau} = Y_{t+\tau} - \tilde{Y}_{t+\tau}$  - похибки прогнозування;  $\lambda'_{i,t}$  - старе значення  $\lambda_{i,t}$ , що отримане на попередньому кроці;  $k = \alpha/2 \sum_{i=1}^M X_{i,t}^2$  коефіцієнт адаптації;  $\alpha$  - параметр адаптації, причому  $0 < \alpha < 2$ .

Оптимальне значення  $\alpha$  знаходиться так само, як і у методі адаптивної авторегресії в процесі «навчання» моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині. На початковому етапі будується звичайна модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині множинної регресії методом найменших квадратів.

Другий підхід до моделювання взаємозалежних динамічних рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині пов'язаний з узагальненням методу Бокса-Дженкінса для ізольованих рядів. Розглянемо методику побудови таких моделей процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, обмежуючись для простоти двома взаємозалежними рядами  $\{X_t\}$  і  $\{Y_t\}$ . Якщо  $Y_t$  і  $X_t$  - відхилення членів динамічних рядів від деякого рівноважного рівня відповідно на виході і вході динамічної системи.

Запишемо рівняння моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині у вигляді

$$Y_t - \delta_1 Y_{t-1} - \dots - \delta_r Y_{t-r} = \omega_0 X_{t-b} - \omega_1 X_{t-b-1} - \dots - \omega_s X_{t-b-s}, \quad (5)$$

де  $\delta_i$  - «лівосторонні» параметри моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині;  $\omega_j$  - «правобічні» параметри моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині;  $b$  - «параметр затримки».

Використовуючи поняття оператора зрушення «назад»  $BY_t = Y_{t-1}$ ;  $B^2 Y_t = Y_{t-2}$ ; рівняння (5) можна записати у вигляді

$$(1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r) Y_t = (\omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s) X_t \quad (6)$$

або в більш компактному виді

$$Y_t = (\omega(B)/\delta(B)) X_{t-b} \quad (7)$$

де введено позначення

$$\delta(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r \quad \omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \dots - \omega_s B^s$$

Функція

$$\nu(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} \quad (8)$$

є передаточною функцією. Враховуючи, що будь-яка динамічна система піддається збурюванню  $N(t)$ , рівняння моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині (7) повинно бути записано у вигляді

$$Y_t = \nu(B) X_{t-b} + N_t \quad (9)$$

Процедура ідентифікації моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині містить у собі стохастичне моделювання ряду  $\{X_t\}$ , вирівнювання спектрів обох рядів, оцінку автокореляцій вирівняного виходу і взаємних кореляцій вирівняних входу і вихо-

ду, оцінку функції відгуку на одиничний імпульс і виділення випадкового компонента  $N_t$ . У результаті виконання перерахованих розрахунків ідентифікуються параметри  $b, r$  і  $s$ .

Вирівнювання спектрів рядів  $\{X_t\}$  і  $\{Y_t\}$  здійснюється за формулами

$$\begin{aligned} a_t &= X_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i X_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j a_{t-j}; \\ \beta_t &= Y_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \beta_{t-j}, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $\Phi_i$ , і  $\theta_i$ , - параметри моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині авторегресії ковзного середнього, що отримані в результаті моделювання ряду  $\{X_t\}$ .

Для перекручених рядів  $\{\alpha_t\}$  і  $\{\beta_t\}$  по стандартних формулах заходяться оцінки автокореляцій  $r_{\beta\beta}(k)$  і взаємних кореляцій  $r_{\alpha\beta}(k)$ , а також оцінки функції відгуку на одиничний імпульс

$$\tilde{D}_k = \frac{\tilde{\sigma}_\beta}{\tilde{\sigma}_\alpha} \tilde{r}_{\alpha\beta}(k), \quad (11)$$

де  $\tilde{\sigma}_\beta^2$  і  $\tilde{\sigma}_\alpha^2$  - оцінки дисперсій відповідно  $\beta_t$  і  $\alpha_t$ .

Отриманні на цьому етапі оцінки  $\tilde{D}_k$  статистично неефективні, але дозволяють ідентифікувати порядок операторів  $\mathcal{X}(B)$  і  $\mathcal{A}(B)$ , а також величину затримки  $B$ . Ідентифікація параметрів  $r, s$  і  $b$  ґрунтується на теоретичних властивостях функції відгуку  $\tilde{D}_k$  у рівнянні моделі процесу формування якості руди і корисної копалини в рудній сировині (11).

Після того як ідентифікований порядок моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, можна відновити випадкову складову моделі процесу формування якості руди і корисної копалини в рудній сировині  $N_t$  за допомогою рівняння

$$N_t = Y_t - \tilde{v}_0 X_t - \tilde{v}_1 X_{t-1} - \dots - \tilde{v}_g X_{t-g} \quad (12)$$

і за стандартною методикою побудувати стохастичну модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині ряду  $\{N_t\}$ . Якщо при цьому отримана модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині має вигляд АРКС  $(p, q)$ , то модель процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині взаємозалежних рядів може бути записана у вигляді

$$Y_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} X_{t-b} + \frac{\theta(B)}{\Phi(B)} \varepsilon_t, \quad (13)$$

де  $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ ;  $\Phi(B) = 1 - \Phi_1 B - \Phi_2 B^2 - \dots - \Phi_p B^p$ .

Початкові оцінки «лівосторонніх» параметрів моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині передаточної функції  $\delta_i$  знаходяться з вирішення системи лінійних рівнянь

$$\sum_{i=1}^r A_{ij} \tilde{\delta}_i = h_j; \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (14)$$

де  $h_j = \tilde{v}_{b+s+j}$ ;  $A_{ij} = \begin{cases} \tilde{v}_{b+s+i-j} & s+i \geq j \\ 0 & s+i < j. \end{cases}$

Початкові оцінки «правобічних» параметрів моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині визначаються за допомогою формул

$$\tilde{\omega}_0 = \tilde{v}_b; \quad D_{ij} = \tilde{\delta}_i \tilde{v}_{b+j-i} - \tilde{v}_{b+j}; \quad \tilde{\omega}_j = \sum_{i=1}^j D_{ij}; \quad \text{при } r \geq s; \quad \tilde{\omega}_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^j D_{ij}, & j \leq r; \\ \sum_{i=1}^r D_{ij}, & j > r; \end{cases} \quad \text{при } r < s. \quad (15)$$

Попередні оцінки параметрів  $\delta_i$ ,  $\omega_i$ ,  $\Phi_i$  і  $\theta_i$  надалі використовуються для одержання прогнозів і їхнього порівняння з фактичними даними. Остаточне оцінювання моделі процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині і її діагностична перевірка на адекватність здійснюється точно так само, як і для ізольованих рядів. При використанні комп'ютерних технологій розрахунки здійснюються по тим самим стандартним програмам.

Доцільно розглянути далі практично важливе питання про побудову і використання для прогнозування так званих агрегованих рядів на підставі динамічних рядів якості руди і корис-

ної копалини у рудній сировині з невеликими інтервалами дискретності. Дійсно, при розгляді методів прогнозування якісних показників динамічних рядів внутрішня структура ряду і окремого його елемента в увагу не приймалися. Передбачалося, що методи застосовні для рядів якості руди і корисної копалини у рудній сировині з різними інтервалами дискретності (зміна, доба і т. д.). Такий підхід правомірний, якщо число членів динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині досить велике, щоб одержати надійні статистичні оцінки параметрів мінливості. Однак для рядів з більшими інтервалами дискретності (місяць, квартал, рік) і вкрай обмеженим числом спостережень ця умова не виконується. Вирішення питання може бути знайдено, якщо такі ряди якості руди і корисної копалини у рудній сировині розглядати як агреговані, що утворенні даними рядів меншої дискретності.

Для динамічного ряду якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $\{C'_t\}$  з деяким мінімальним інтервалом дискретності  $t_0$  (наприклад, зміна, доба) число даних досить велике. Розглянемо завдання визначення статистичних характеристик агрегованих рядів  $\{C_n\}$ , що отримані з основного ряду  $\{C'_t\}$  за допомогою переключення

$$C_k = (C'_{k(m-1)+1} + C'_{k(m-1)+2} + \dots + C'_{km}) / m$$

або

$$C_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m C'_{k(m-1)+j} \quad (16)$$

Якщо  $t_0$  дорівнює одній добі, то при  $m=1$  отримуємо ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $\{C_n\}$  середньо недільних значень показника  $C$ . У найпростішому випадку взаємозалежних  $C'_t$  всі характеристики ряду  $\{C_n\}$  знаходяться за допомогою формул класичної математичної статистики

$$M(C) = M(C') = \bar{C}; \quad D(C) = \frac{D(C')}{m}$$

У більш загальному випадку, коли динамічний ряд якості руди і корисної копалини у рудній сировині  $\{C'_t\}$  є стаціонарним, необхідно знайти зв'язок між характеристиками рядів  $\{C'_t\}$  і  $\{C_k\}$ . Для математичного очікування маємо  $M(C) = M(C')$ . Для визначення дисперсії  $D(C)$  і автокореляційної функції  $K_C(l)$  скористаємося їхніми властивостями. Підставляючи (16) у відповідні вирази для дисперсії і автокореляційної функції, після перетворень отримаємо

$$D(C) = \frac{2}{m} + D(C') + \frac{2}{m} \sum_{r=1}^{m-1} (m-r) K_{C'}(r); \quad (17)$$

$$K_C(l) = \frac{1}{m} \sum_{r=-(m-1)}^{m-1} \left(1 - \frac{|r|}{m}\right) K_{C'}(lm-r). \quad (18)$$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Отримано теоретичні залежності які будуть використані для побудови агрегованих рядів процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині, якщо відомо характеристики вихідного основного ряду.

Викладений підхід розширює можливості методу прогнозування процесу формування якості руди і корисної копалини у рудній сировині в рудо потоках і дозволяє вірогідно оцінювати контрольовані якісні характеристики підвищуючи точність прогнозування.

Видано рекомендації стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності.

#### Список літератури

1. Аврамов В.Е., Азбель Е.И., Ефремова Н.И. Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука, 1979.
2. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. М., Недра, 1980.
3. Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И. Теория и практика усреднения руд. М., Недра, 1979.
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир, 1974.
5. Гудков В.М., Васильев В.М., Николаев К.П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
6. Добина А.С., Евстропов Н.А. Стандартизация продукции в горнодобывающей промышленности. М., изд. ВИСМ, 1978.
7. Измерение качества продукции. Вопросы квалиметрии. Под ред. А.В. Гличева. М., Стандарт, 1971.
8. Геометризація родовищ корисних копалин. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямом «Гірництво» / Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В. та інші - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008. -367 с.

9. Инструкция по производству маркшейдерских работ. - М.: Недра, 1987. - 240 с.
10. Сидоренко В.Д., Федоренко П.Й., Шолох М.В. Автоматизация маркшейдерских работ: Навчальний посібник. -2-е вид., перероб. і доп. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. - 344 с.
11. Baranowski M. Zastosowanie fotogrammetrii w miernictwie podziemnym / M. Baranowski // Prz. gorniczy. - 1974. - Vol. 30. - № 11. - P. 571-577.
12. Beyer C. Erfahrungen beim Abbau eines 9m mächtigen Kohlenpfeilers um eine Schachtröhre / C. Beyer. - Budapest, 1972. - 236 p.
13. Brinkmann E. Dauerstandsverhalten von Holzpfählern / E. Brinkmann, F. Neveling // Glückauf-Forsch. - Vol. 30. - 1969. - P. 85-87.
14. Chambon C. Einfluß der gebauten Mächtigkeit und der Teufe auf die Strebkonvergenz / C. Chambon // Bergb. - Wiss.(13). -1966. - P. 153-160.
15. Chen C.T. Visible and ultraviolet optical properties of single-crystal and polycrystalline hematite measured by spectroscopic ellipsometry / C. T. Chen, B. D. Caban // J.Opt.Soc.Amer. - Vol. 7. - 1981. - 240 p.
16. Deeper open pits // International Mining. - № 10. - 2009. - P. 52-55.
17. Gorachard G. Dispersions-equation coefficients for the refractive index and birefringence of calcite and quartz crystals / Gorachard Ghosh // Opt.Comm. - Vol.163. - 1999. -P. 95-102.
18. Herzinger C.M. Ellipsometric determination of optical constants / C. M. Herzinger, B. Johs, McGahan and J. A. Woollan. - 1995. - 123 p.
19. Meier G. Erkundung und Verwahrung tagesnaher Holraum in Sachsen / G. Meier // Glückauf. -1997. - P. 241-245.
20. Mie G. Beiträge zur Optik trüber Medich Special kolloidaler / G. Mie // Metalsösungen. Ann. Phys. - B. 25. - 1998. - P. 377-445.

Рукопис подано до редакції 22.03.16

УДК 624.024-044.963

О.Б. НАСТИЧ, канд. техн. наук, доц., І.В. ХОРУЖЕНКО, асистент,  
Т.В. КОЛЮКА, студент, Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬНОГО КИЛИМУ БУДІВЛІ ЦЕХУ ПІДГОТОВКИ РУХОМОГО СКЛАДУ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ

Довговічність покрівлі - період часу, протягом якого покрівля зберігає працездатність. Довговічність визначається конкретними умовами експлуатації покрівлі, тобто впливом на неї комплексу кліматичних, механічних і інших агресивних чинників. Ці умови залежать від кліматичного району, місця розташування в конструкції, дотримання технологічних вимог при улаштуванні покрівлі, режиму експлуатації будівлі. Слід мати на увазі, що і ці умови в часі можуть змінюватися. Основне завдання при визначенні довговічності покрівлі зводиться до того, щоб визначити чинники її руйнування під час експлуатації, виявити шляхи їх усунення. Експлуатаційна придатність та довговічність плит покриття та кровляних конструкцій промислових будівель та споруд в значній мірі залежать від стану покрівельного килиму покриття. В свою чергу стан м'якого килиму залежить від технології влаштування, від умов експлуатації та від проведення своєчасного обстеження та проведення необхідних ремонтних робіт. В статті проаналізовано та досліджено публікації, де було розглянуто технологію улаштування м'яких бітумних покрівель, виявлення дефектів та пошкоджень покрівлі в умовах звичайної експлуатації, а також при експлуатації в умовах підвищених температур, з'ясування причин таких руйнувань, знаходження чинників, що впливають на експлуатаційні властивості м'якої бітумної покрівлі, а також встановлення технології та рекомендацій для усунення виявлених дефектів. Авторами статті було обстежено покрівлю будівлі цеху підготовки рухомих складів КП «Швидкісний трамвай», внаслідок чого було розроблено спеціальну методику усунення основних дефектів.

**Ключові слова:** м'яка покрівля, бітумна покрівля, руйнування та дефекти покрівлі, експлуатація покрівель

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Багаторічні обстеження покрівель житлових будинків та будівель загального користування показали їх загальний незадовільний стан. Це найчастіше пов'язано з грубими порушеннями будівельних норм і правил при організації виробництва покрівельних робіт, а також з неправильним вибором покрівельних матеріалів, іноді це - результат невдалого проектного рішення конструкції будівлі і його покрівлі зокрема. Все це істотно знижує надійність покрівлі.

В Україні близько 90 % покрівель виконуються з рулонних бітумних або бітумно-полімерних матеріалів методом наплавлення. Протягом тривалого часу такі покрівлі довели свою недовговічність і вельми низьку надійність. Їх ремонт, найчастіше, починається вже в процесі виготовлення і триває, з перервами в один-два роки, весь термін служби покрівельного покриття. Дефекти покрівель призводять до дуже великих витрат на відновлення початкового стану самої покрівлі, а також обробки ниж-