

Г.А.; Чебыкин В.В; заявитель ГУП "Электростальское научно-производственное объединение "Неорганика"" – № 2000117608/12; заявл. 03.07.2000; опубл. 27.07.2001; Бюл. № 19.

5. **Yu-Mei, K., Chane-Yu, L., Chih-Chieh, C., Bo-Hong, L., Sheng-Hsiu, H., Chun-Wan, C.** Evaluation of exhalation valves. The Annals of occupational hygiene, 2005, 49(7), 563-568.

6. **Burton, D.A., Stokes, K., M Hall, G.** Physiological effects of exercise. Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain, 2004, 4(6), 185-188.

7. **Chen, F.-L., Horng, T.-L., Shih, T.-C.** Simulation analysis of airflow alteration in the trachea following the vascular ring surgery based on CT images using the computational fluid dynamics method. Journal of X-Ray Science and Technology, 2014, 22(2), 213-225.

8. **Mellor, D.J., Beausoleil, N.J.** Equine Welfare during Exercise: An Evaluation of Breathing, Breathlessness and Bridles. Animals, 2017, 7(6), 41.

9. **Патент** 2515535 РФ, МПК а62b9/02, Однонаправленные клапаны и фильтрующие лицевые маски, содержащие однонаправленные клапаны. / Ксюэ Т.Дж. (US), Домроезе М.К. (US), Мартин Ф.Г. (US), Абел Н.А. (US); заявитель ЗМ ИННОВЕЙТИВ ПРОПЕРТИЗ КОМПАНИ (US) – № 2012117971/12; заявл. 06.12.2010; опубл. 27.01.2014; Бюл. №3

10. **ДСТУ EN 149:2017** Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT). Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=75012](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=75012).

11. **US OSHA Standard** 29 CFR 1910.134 "Respiratory Protection", Режим доступу: <https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/1994-05-25>.

12. **Клинов, И.Я., Левин, А.Н.** Пластмассы в химическом машиностроении. М.: ГНТИМашлит, 1963. С. 104-113.

13. **Каминский, С.Л.** Спироэргометические исследования влияния на человека внешнего сопротивления дыханию. Сб. науч. работ ин-тов охр. труда ВЦСПС. М.: Профиздат. 1974. №92. С. 44-48.

14. **Brosseau, L.M.** Aerosol penetration behavior of respirator valves. American Industrial Hygiene Association journal, 1998, 59, 173-180.

15. **Campbell, D.L., Alender, J.R., Myers, W.R.** Respirator performance as a function of inhalation valve efficacy. Journal of the International Society for Respiratory Protection, 1990, 8(1), 26-32

Рукопис подано до редакції 17.03.2021

УДК 622:271

М.М. ПИЖИК, А.М. ПИЖИК, кандидати техн.наук, доценти,  
І.О. ПАШКОВА, асист., Криворізький національний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ, ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ГРАНИЦЬ КАР'ЄРУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ

**Мета.** Метою даної роботи є дослідження та розробка нового критерію з обґрунтування та вибору оптимального варіанту режиму гірничих робіт в умовах залізрудних кар'єрів при експлуатації та комплексній розробці родовищ корисних копалин, удосконалення методики оптимізації головних параметрів кар'єрів, їх граничних контурів, режиму гірничих робіт та виробничої потужності з корисних копалин та розкривних порід.

**Методи дослідження.** В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз літературних джерел з проектування головних параметрів кар'єрів, графо-аналітичні методи з визначення варіантів розробки та методи лінійного програмування (метод гілок та меж).

**Наукова новизна.** Розроблено новий критерій оцінки режиму гірничих робіт, який дозволяє при оптимізації головних параметрів кар'єрів враховувати їх взаємозв'язок. Останнє суттєво змінює алгоритм визначення головних параметрів кар'єрів: відповідно контурів черги розробки за об'ємами промислових запасів та попиту на корисну копалину визначається продуктивність кар'єру за економічними умовами, після чого обирається режим гірничих робіт, який у максимальному ступені забезпечує динаміку відповідних сортів руд та розкривних порід.

**Практична значимість.** Отримані наукові результати обумовлені удосконаленням методики проектування режиму гірничих робіт та продуктивності кар'єрів при їх оптимізації. Запропонований новий критерій оптимізації границь кар'єру, режиму гірничих робіт та його виробничої потужності з технологічних сортів корисної копалини та розкривних порід може бути рекомендованим до включення проектними організаціями до нормативно-правових документів з проектування гірничо-видобувних підприємств з відкритим способом розробки.

**Результати.** На підставі виконаного аналізу сучасних розрахункових принципів та методів визначення головних параметрів кар'єру розроблено новий критерій оцінки варіантів розробки та змінено порядок визначення головних параметрів кар'єрів при їх проектуванні. Висока якість проектування головних параметрів кар'єрів за умов використання запропонованої методики їх визначення та високої культури ведення гірничих робіт дозволить суттєво підвищити збіжність результатів, що позитивним чином вплине на техніко-економічні показники гірничого виробництва.

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, режим гірничих робіт, границі кар'єру, продуктивність, собівартість, витрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-30-33

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Робота сучасних гірничо-видобувних підприємств в умовах жорсткої конкуренції потребує удосконалення існуючих та розробки нових критеріїв оцінки та методів визначення головних параметрів кар'єрів: режиму гірничих робіт, виробничої потужності з технологічних сортів руд та розкривних порід та границь кар'єрів при спеціалізованій та комплексній розробці залізородних родовищ.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Як показав аналіз досліджених публікацій з визначення головних параметрів кар'єрів наукових шкіл акад. Ржевського В.В., професорів Хохрякова В.С., Блізнюкова В.Г. та ін., існуючі методи оптимізації гірничих робіт, продуктивності кар'єрів недосконалі та не відображають в повній мірі взаємозв'язок між режимом гірничих робіт та продуктивністю кар'єру.

**Постановка задачі.** Основною задачею даних досліджень є обґрунтування та розробка нового критерію оцінки варіантів режимів гірничих робіт в умовах залізородних кар'єрів при експлуатації та комплексній розробці родовищ корисних копалин, удосконалення методики оптимізації головних параметрів кар'єрів, їх граничних контурів, режиму гірничих робіт та виробничої потужності з корисних копалин та розкривних порід.

**Викладення матеріалу та результати.** В теорії та практиці проектування головних параметрів кар'єрів алгоритм визначення кожного з них прийнятий наступний: за методом варіантів намічається орієнтовна глибина кар'єру, для якої встановлюються його контури та величина промислових запасів корисної копалини. У встановлених контурах визначається варіант режиму гірничих робіт, при якому досягається оптимальна динаміка співвідношення обсягів виймання розкривних порід та корисної копалини під час поглиблення дна кар'єру. Надалі за результатами графо-аналітичних показників режиму гірничих робіт визначається продуктивність кар'єру з корисної копалини за гірничо-технологічними умовами (максимальною інтенсивністю гірничих робіт та транспортними умовами).

Наступний крок - перевірка того, що в заданих границях кар'єру впродовж всього періоду його експлуатації відкритий спосіб розробки буде економічно доцільним. В основу цього твердження покладений розрахунковий принцип проф. О.І. Арсентьєва  $n_{zp} \geq n_0 + n_{kk}^{max}$ , згідно з яким сума початкового та максимального з усіх періодів усереднення експлуатаційного коефіцієнтів розкриття буде меншою або дорівнювати значенню граничного коефіцієнту розкриття.

Даний розрахунковий принцип дозволяє враховувати взаємозв'язок лише двох головних параметрів кар'єру при оптимізації границь та режиму відкритих гірничих робіт. Перший кількісно визначається значенням граничного коефіцієнта розкриття, другий – значенням початкового та експлуатаційного коефіцієнта розкриття.

Що стосується виробничої потужності кар'єру з видобування корисної копалини в даному розрахунковому принципі кількісна оцінка відсутня. Оптимізація режиму гірничих робіт здійснюється за критерієм мінімального поточного співвідношення розкривних порід та корисної копалини. Такий підхід до планування гірничих робіт дозволяє обрати режим видобування розкривних порід, що за економічними умовами є доцільним. Разом з тим, якою буде динаміка виймання корисної копалини відносно рівня проектної продуктивності переробних підприємств чи річних обсягів споживання невідомо. Рівень продуктивності кар'єру з корисної копалини в даному разі буде визначатися як постфактум за показниками обраного раніше режиму гірничих робіт.

Пропонується з метою кількісної оцінки взаємозв'язку всіх трьох головних параметрів кар'єру при їх оптимізації змінити підхід до порядку їх визначення та розробити новий критерій оцінки режиму гірничих робіт, в якому була б можливість врахувати заданий за економічними умовами рівень продуктивності кар'єру та її вплив на режим гірничих робіт та границі кар'єру.

Алгоритм визначення продуктивності та режиму гірничих робіт кар'єру пропонується такий:

визначення раціональної продуктивності кар'єру з технологічних сортів руд та розкривних порід за економічними умовами;

відповідно до рівня встановленої продуктивності з корисної копалини планувати режим гірничих робіт за принципом мінімального поточного відхилення фактичних приведених витрат на розробку від їх планових показників.

Відповідно до цього розрахункового принципу був розроблений критерій оцінки режиму гірничих робіт, який має наступний вигляд

$$\Delta Z_t = \sum_{i=1}^n (Z_{\phi_{it}} - Z_{n_{lit}}) + \sum_{k=t+1}^T \sum_{i=1}^n (Z_{\phi_{ik}} - Z_{n_{lik}}) \rightarrow \min ,$$

де  $Z_{\phi_{it}}$ ,  $Z_{n_{lit}}$  – відповідно фактичні та планові приведені витрати на виробництво товарної продукції  $i$ -го виду на  $t$ -му кроці планування, грн.;  $Z_{\phi_{ik}}$ ,  $Z_{n_{lik}}$  – відповідно фактичні та планові приведені витрати на виробництво товарної продукції  $i$ -го виду за всіма наступними  $k$ -ми кроками планування, грн;  $T$  – тривалість періоду планування, роки;  $n$  – кількість технологічних сортів корисної копалини та розкривних порід.

При цьому за планові приймаються витрати, які відповідають режиму гірничих робіт з поточними об'ємами видобування технологічних сортів корисної копалини ( $P_i$ ) в обсягах, рівних їх раціональних обсягам споживання ( $P_{cn_i}$ ). Планові витрати визначаються за формулою, грн

$$Z_{n_{li}} = P_i \cdot C_{B_i} + P_{cn_i} \cdot (C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}),$$

де  $C_{B_i}$  - собівартість видобування корисної копалини  $i$ -го виду, грн.;  $P_{cn_i}$  - обсяги споживання корисної копалини  $i$ -го виду;  $C_{nep_i}$  - собівартість переробки корисної копалини  $i$ -го виду, грн.;  $\gamma_i$  - вихід товарної продукції  $i$ -го виду, частка одиниць;  $C_{T_i}, l_{T_i}$  - відповідно собівартість та відстань транспортування товарної продукції  $i$ -го виду до її споживача, грн./т, км.

Відносно планових, фактичні витрати будуть складати:

при  $P_i \leq P_{cn_i}$ , грн

$$Z_{\phi} = P_{cn_i} \cdot (C_{B_i} + C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}) + (P_i - P_{cn_i}) \cdot (C_{B_i} - B),$$

де  $B$  - собівартість виробництва розкривних робіт, грн.;

при  $P_i < P_{cn_i}$ , грн

$$Z_{\phi} = P_{cn_i} \cdot C_{B_i} + \Delta P_{o_i} \cdot C_{p_i} + (P_i + \Delta P_{o_i}) \cdot (C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}),$$

де  $\Delta P_{o_i} = P_{cn_i} - P_i$  - компенсація недостатніх до планових обсягів корисної копалини  $i$ -го виду з технологічного складу, т;  $C_{p_i}$  - собівартість видобування корисної копалини  $i$ -го виду з технологічного складу, грн./т;

при  $P_i + \Delta P_{o_i} < P_{cn_i}$ , грн

$$Z_{\phi} = P_{cn_i} \cdot C_{B_i} + (P_i + \Delta P_{o_i}) \cdot (C_{nep_i} + \gamma_i \cdot C_{T_i} \cdot l_{T_i}) + \Delta P'_{o_i} \cdot (C'_i + C'_{nep_i} + \gamma'_i \cdot C'_{T_i} \cdot l'_{T_i}),$$

де  $\Delta P'_{o_i} = P_{cn.m} - (P_i + \Delta P_{o_i})$  - компенсація недостатніх обсягів корисної копалини  $i$ -го виду з спеціалізованих кар'єрів, т;

при  $P_i + \Delta P_{o_i} = 0$ , грн

$$Z_{\phi} = \Delta P'_{o_i} \cdot (C'_{B_i} + C'_{nep_i} + \gamma'_i \cdot C'_{T_i} \cdot l'_{T_i}).$$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Проведені дослідження дозволяють сформулювати основний алгоритм з визначення оптимальних параметрів кар'єрів з урахуванням їх взаємозв'язку:

за вихідною геологічною інформацією намічається орієнтовне положення дна кар'єру, відносно якого відбудовується його контури;

за об'ємами промислових запасів корисних копалин та розкривних порід визначається продуктивність кар'єру за економічними умовами;

обирається за запропонованим критерієм режиму гірничих робіт, який в максимальній мірі буде наближений до продуктивності кар'єру з кожного з видів корисних копалин, визначених за економічними умовами;

відповідно до динаміки коливань об'ємів технологічних сортів руд та розкривних порід визначається рівень максимально можливої стійкої продуктивності кар'єру з кожного виду корисної копалини;

за методом О.І. Арсентьєва визначається доцільність відкритого способу розробки. При позитивному результаті перевірки умов розрахункового принципу намічається контур кар'єру другого етапу, для умов якого всі графо-аналітичні роботи повторюються.

#### Список літератури

1. Пижик М. М. Сучасні підходи до визначення оптимальних проектних рішень при комплексному освоєнні родовищ корисних копалин із застосуванням критерію максимуму прибутку в умовах ринкової економіки / М. М. Пижик, В. В. Терещенко, Ю. І. Григор'єв // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2014. – Вип. 37. – С. 273–276.
2. **Норми технологічного проектування** гірничовидобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. - К.: Мінпромполітики, 2007.
3. Открытые горные работы. Справочник. - М.: Горное бюро, 1994.
4. **Ю.И. Анистратов.** Технологические процессы открытых горных работ - М.: Недра, 1995.
5. **Ю.И. Анистратов.** Проектирование карьеров - М.: МГИ, 1983.
6. **А.И. Арсентьев.** Определение производительности и границ карьеров. - М.: Госгортехиздат, 1961.
7. **А.И. Арсентьев, Г.А. Холодняков.** Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений. - М.: Недра, 1994.
8. **Астахов А.С.** Динамические методы оценки эффективности горного производства. - М. Недра, 1973.
9. Теория и практика открытых разработок. Под ред. Н.В Мельникова. - М.: Недра, 1973.
10. **Хохряков В.С.** Автоматизированное проектирование карьеров. - М.: Недра, 1985.

Рукопис подано до редакції 19.03.2021

УДК 004.451.25:[622.788:621.867]

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,  
А.М. ТИХАНСЬКА, асист., Криворізький національний університет

## НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІДГОТОВКИ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

**Мета.** Головною метою цієї роботи є вирішення актуального завдання підвищення ефективності процесу шихтування і покращення якості продуктів збагачення за рахунок автоматизації процесу шихтування шляхом побудови автоматизованої системи керування з використанням засобів нечіткої логіки.

**Методи дослідження.** Для вирішення цього завдання використані методи математичного моделювання для аналізу якості перехідних процесів і швидкодії розробленої системи управління процесом підготовки агломераційної шихти з моделями нечіткої логіки, теорії ідентифікації систем для вибору і обґрунтування структури математичної моделі об'єкта керування. А також методи розроблені в теорії автоматичного керування, механіці, методи обробки випадкових процесів і математичної статистики, а також, аналіз літературних і патентних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

**Наукова новизна.** Пропонується автоматичне керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості руху конвеєрних живильників та за рахунок врахування параметрів які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме хімічного складу матеріалів, вологості, крупності тощо.

При цьому керування відбувається за рахунок використання нечіткого регулятора, налаштування сучасних мікропроцесорних приладів, які автоматично розраховують коефіцієнти настройки регуляторів в залежності від збурюючих факторів. Таким чином, з'явилася можливість раціонального управління режимом підготовки агломераційної шихти з використанням нечіткого регулятора.

**Практична значимість.** Керування підготовкою агломераційної шихти за рахунок зміни швидкості стрічкового конвеєра з урахуванням параметрів, які постійно змінюються, що проявляється у вигляді контрольованих і неконтрольованих збурень і перешкод різного походження, а саме якості складових компонентів агломераційної шихти.

Авторами запропонована автоматизована система з використанням нечіткого регулятора, що покращує якість перебігу процесу підготовки шихти до спікання.