

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПРИ СУМІСНОМУ КОМПЛЕКСНОМУ ВІДПРАЦЮВАННІ ТЕХНОГЕННИХ І ГЕОГЕННИХ РОДОВИЩ

Розроблено інтегральний критерій вибору режиму гірничих робіт при комплексному освоєнні надр, що враховує взаємний вплив сумісного відпрацювання техногенних і геогенних родовищ. Доведено, що при використанні запропонованого критерію підвищується ефективність проектних рішень щодо вибору раціонального режиму гірничих робіт.

Разработан интегральный критерий выбора режима горных работ при комплексном освоении недр, который учитывает взаимное влияние совместной отработки техногенных и геогенных месторождений. Доказано, что при использовании предложенного критерия повышается эффективность проектных решений о выборе рационального режима горных работ.

Designed integral criterion mode of mining operations for the integrated development of mineral resources, which takes into account the mutual influence of man-made and natural deposits. It is proved that the use of the proposed criterion increases the efficiency of design decisions on the choice of a rational mode of mining.

Гірничорудна промисловість України, зокрема відкрита розробка родовищ корисних копалин, є однією з основних галузей промисловості, що забезпечують більше 60% валютних надходжень в державний бюджет. В Україні нараховується 53 родовища залізних руд, 30 з яких знаходяться в експлуатації. На сьогоднішній день на найбільших ГЗК України видобуваються багаті залізні руди із вмістом заліза не менше 46% і залістисті кварцити із вмістом заліза 30-35%. Балансові запаси залізних руд становлять більше 32 млрд т, а промислові – більше 28 млрд. т. [1]. Однак значні поклади інших корисних копалин, зокрема окиснених кварцитів, сланців, марганцевої руди та цілий ряд корисних копалин, придатних для будівельної продукції залишаються без належної уваги.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Гірничорудна промисловість України, досягаючи таких масштабів виробництва товарної продукції, одночасно являє собою одного з найбільших виробників відходів гірничого виробництва, кількість яких в рази перевищує виробничу потужність по корисним копалинам.

У сучасних умовах активного входження України у світовий ринок особливої актуальності набуває проблема підвищення конкурентоспроможності вітчизняних гірничих підприємств шляхом зниження витрат на видобуток корисних копалин та підвищення їх прибутковості за рахунок комплексного використання корисних копалин родовищ, що розробляються. Адже це одночасно вирішуватиме проблему складування відходів виробництва і підвищить обсяг продукції, що випускається.

Процес переходу від планової економіки до ринкової для гірничодобувних підприємств означає не лише перегляд економічних підходів планування виробничої діяльності, а й, відповідно, ряду технологічних питань. Так, зокрема, для умов командної економіки питання вибору режиму гірничих робіт базувалося на необхідності задоволення постійного попиту у корисних копалинах, величина якого диктувалася державою. На противагу плановій, ринкова економіка характеризується постійними змінами ціни і величини попиту на продукцію гірничих підприємств. Господарювання в умовах ринкових відносин передбачає більш високу динаміку виробничої потужності, ніж при плановій економіці. Однак кар'єр є досить інерційною системою і не може так оперативно реагувати на всі потреби ринку.

Як наслідок, вирішення цих проблем потребує пошуку нових і вдосконалення старих теоретичних засад вибору оптимального режиму гірничих робіт.

Аналіз досліджень та публікацій. Для умов Криворізького залізорудного басейну, що є сировинною базою для одного з найпотужніших гірничодобувних комплексів, питання комплексного освоєння родовищ набуває все більшої значущості. За різними оцінками у Криворізькому басейні накопичено близько 8 млрд т промислових відходів, а щорічний економічний збиток від забруднення навколишнього середовища оцінюється в 300 млн. доларів. При цьому близько 60% обсягів відвалів гірничодобувних підприємств, 20% лежалих хвостів збагачувальних фабрик і в повній кількості відходи металургійної переробки гірничо-металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг» представляють собою залізорудну сировину з показниками, що висуваються збагачувальними підприємствами [2]. Тут слід відмітити, що поняття комплексного освоєння родовищ передбачає максимально повне використання мінеральних ресурсів, що виймаються із земних надр, зокрема і тих, що складуються у техногенні родовища – відвали, шламо- і хвостосховища.

Аналіз досвіду роботи найбільших гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну дозволяє говорити про низький рівень комплексності освоєння родовищ. Ця проблема повинна вирішуватися шляхом вдосконалення методології визначення та оптимізації режиму гірничих робіт, що забезпечить максимальну прибутковість комплексного відпрацювання родовищ корисних копалин. А оскільки в роботі [5] доведено, що комплексне освоєння родовищ корисних копалин має передбача-

ти відпрацювання техногенних родовищ спільно з геогенними, то вдосконалення такої методології має базуватися на принципах сумісної розробки техногенних і геогенних родовищ із врахуванням їх взаємного впливу.

В роботі [6] виконано ґрунтовний аналіз факторів, що впливають на конкурентоздатність підприємства, що випускається гірничо-збагачувальними комбінатами. В цій же роботі були досліджені існуючі критерії вибору режиму гірничих робіт. В результаті синтезу отриманих результатів зроблено висновок, що не існує критерію, який би в достатній мірі враховував вплив сумісної розробки техногенних і геогенних родовищ.

Постановка завдання. Таким чином виявлено потребу у вирішенні важливого завдання: розробки критерію вибору режиму гірничих робіт при комплексному освоєнні надр з урахуванням сумісного відпрацювання техногенних і геогенних родовищ.

Викладення матеріалу та результати. Виходячи з того, що метою роботи будь-якого підприємства є отримання прибутку, а питання вибору режиму гірничих робіт передбачає різночасові грошові потоки, в якості критерію пропонується розглядати максимум чистого приведеного до одного моменту часу прибутку NPV.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{D_t - B_t}{(1 + E)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1 + E)^t} + DL_p - Y_t, \quad (1)$$

де D_t – дохід від реалізації товарної продукції в t -й рік, грн.;

B_t – витрати на виробництво товарної продукції в t -й рік, грн.;

K_t – сума капітальних інвестицій у t -му році, грн.;

E – ставка дисконтування, долі од.;

t – розрахунковий рік;

T – строк відпрацювання родовища з урахуванням часу на рекультивацію, років;

DL_p – надходження коштів у вигляді ліквідаційної вартості обладнання або інших активів (гірничих виробок) чи вивільнення частини оборотних коштів, що мають бути враховані як доходи відповідних періодів.

Y_t – приведені витрати на відновлення (рекультивацію) оточуючого середовища на завершальній фазі проекту, грн.

Оскільки критерій вибору режиму гірничих робіт базується на максимізації прибутку, то першочерговими для виймання вважаються обсяги порід, що приносять максимальний прибуток. Дохідна частина прибутку у існуючому вигляді, виражена у формулі (2), враховує комплексне освоєння родовищ, оскільки передбачає виймання різних видів корисних копалин (f) і випускаємої товарної продукції (s).

$$D_t = \sum_{f=1}^F \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^n \frac{C_{f,s,i}^{NPV}}{(1+E)^t}, \text{ грн.} \quad (2)$$

f – індекс корисної копалини;

F – кількість корисних копалин, од.;
 s – індекс товарної продукції, що виготовляється з певного виду корисної копалини;
 S – кількість видів товарної продукції, од.;
 Π_{fts} – ціна 1 т s -го виду кінцевої продукції з f -го виду корисної копалини в t -ий рік, грн./т;
 $P_{(ftk)}^{\text{вид}} = P_{(ftk)}^{\text{вик}}$ – об'єм видобутку f -го виду корисної копалини в t -ий рік з k -го родовища, що дорівнює об'єму його використання, т;
 γ_{fts} – вихід s -го виду готової продукції з f -го виду корисної копалини, дол. од.;

Однак обсяги порід, що приносять максимальний прибуток можуть знаходитися як в геогенному, так і в техногенному родовищі. А тому при визначенні оптимального режиму гірничих робіт пропонується враховувати взаємний вплив сумісного відпрацювання геогенного і техногенного родовищ за допомогою введення додаткового індексу родовища (геогенного чи одного з техногенних) k . Тоді формула (2) набуде вигляду:

$$D_t = \sum_{k=1}^K \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \frac{\Pi_{fts} P_{(ftk)}^{\text{вид}} \gamma_{fts}}{(1+E)^t}, \text{ грн.} \quad (3)$$

де k – номер родовища (техногенного чи геогенного);
 K – кількість родовищ, од.;
 f – індекс корисної копалини;
 F – кількість корисних копалин, од.;
 s – індекс товарної продукції, що виготовляється з певного виду корисної копалини;
 S – кількість видів товарної продукції, од.;
 Π_{fts} – ціна 1 т s -го виду кінцевої продукції з f -го виду корисної копалини в t -ий рік, грн./т;
 $P_{(ftk)}^{\text{вид}} = P_{(ftk)}^{\text{вик}}$ – об'єм видобутку f -го виду корисної копалини в t -ий рік з k -го родовища, що дорівнює об'єму його використання, т;
 γ_{fts} – вихід s -го виду готової продукції з f -го виду корисної копалини, дол. од.;

Для зручності розрахунків і можливості застосування даного критерію в графоаналітичному методі визначення режиму гірничих робіт виразимо обсяг видобутку певного виду корисної копалини як частку від загального обсягу гірничої маси в розрахунковому блоці через долю корисного компоненту в складі блоку, що розробляється.

$$D_t = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \frac{\Pi_{fts} P_{(ftk)}^{\text{вид}} \gamma_{fts}}{(1+E)^t}, \text{ грн.} \quad (4)$$

де i – горизонт блоку;
 I – кількість горизонтів блоку, од.;
 j – зона блоку;

J – кількість зон блоків;

n_{ijftk} – доля f -го виду корисної копалини в ij -му блоці k -го родовища в t -му році (t/m^3 в складі гірничої маси);

G_{ijtk} – оптимальний об'єм розробки ij -го блоку k -го родовища в t -му році, m^3 ;

Витрати на видобувні і розкривні роботи, а також на переробку, транспортування і складування при комплексній розробці мають розраховуватися за виразом (5):

$$B_t = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \gamma_{fks} n_{ijftk} G_{ijtk} \frac{C_{ijftk}^{вид} + C_{fks}^{п} + C_{fkt}^{тр} + C_{fkt}^{вс}}{(1+E)^t} \quad (5)$$

де n – індекс споживача чи техногенного родовища;

N – кількість споживачів чи техногенних родовищ, до яких транспортується гірнична маса, од.;

$C_{fks}^{п}$ – витрати на переробку f -го виду корисної копалини з k -го родовища в t -ий рік, грн./т;

$C_{fkt}^{тр}$ – витрати на транспортування f -го виду корисної копалини в t -ий рік від k -го родовища до n -го місця переробки чи складування, грн./т;

$C_{ijft}^{вид}$ – собівартість видобутку f -го виду корисної копалини з i -го горизонту j -го блоку k -го родовища в t -ий рік, грн./т;

$$C_{ijft}^{вид} = C_{ijt}^{бвр} + C_{ijft}^{екс} + C_{ijft}^{тран}$$

де $C_{ijt}^{бвр}$ – витрати на підготовку гірських порід до виймання, грн./ m^3 ;

$C_{ijft}^{екс}$ – витрати на екскавацію гірських порід, грн./ m^3 ;

$C_{ijft}^{тран}$ – витрати на транспортування гірських порід від забою до денної поверхні, грн./ m^3 ;

$C_{fkt}^{вс}$ – витрати на відвалоутворення і складування f -го виду корисної копалини з k -го родовища в n -не в t -му році, грн./ m^3 .

При цьому слід відмітити, що згідно запропонованого підходу, одне й те ж родовище (техногенне чи геогенне) може виступати і як вихідний пункт транспортування гірничої маси, і як кінцевий. Наприклад, в перший рік деякий вид порід, що тимчасово не користується попитом, складається у техногенне родовище і останнє виступає як кінцевий пункт транспортування, а в інший період з нього ведеться видобуток і воно стає вихідним пунктом транспортування. В іншому випадку за умов внутрішнього відвалоутворення частина порід транспортується у зовнішні відвали, а частина залишається в контурах кар'єру.

Відомо, що зі збільшенням глибини розробки збільшуються і витрати на гірничі роботи: підвищується міцність порід та інші фізико-механічні властивості, збільшується дальність транспортування гірничих порід до місць складування чи переробки. Розділивши витрати видобування на витрати на підготовку порід до виймання, екскавацію і транспортування для кожного горизонту і блоку, можна врахувати цю тенденцію.

$$\begin{aligned}
 NPV = & \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{r=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \left(\frac{n_{ijfkr} G_{ijfkr} U_{ftr}}{(1+E)^t} \right. \\
 & \left. - n_{ijfkr} G_{ijfkr} \frac{C_{ijfkr}^{BEP} + C_{fkr}^N + C_{fkr}^{TP} + C_{fkr}^{BE}}{(1+E)^t} \right) \\
 & - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} + DL_p - Y_t \rightarrow \max
 \end{aligned}$$

Після розкриття дужок і перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned}
 NPV = & \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^F \sum_{r=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{n=1}^N \frac{Y_{ftr} n_{ijfkr} G_{ijfkr}}{(1+E)^t} (U_{ftr} \\
 & - C_{ijfkr}^{BEP} - C_{ijfkr}^{BKE} - C_{ijfkr}^{TRAN} - C_{fkr}^N - C_{fkr}^{TP} - C_{fkr}^{BE}) \\
 & - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} - DL_p + Y_t \rightarrow \max
 \end{aligned} \tag{6}$$

При експлуатації геогенного родовища настає такий момент, коли відпрацювання техногенного родовища буде доцільнішим, ніж поглиблення гірничих робіт на наступний горизонт. Видобування руди з кар'єру залишається економічно доцільним, однак витрати на відпрацювання техногенного родовища будуть меншими, а потужність збагачувальної фабрики залишається на постійному рівні. Тому для визначення доцільності відпрацювання техногенного родовища з рудної сировини необхідно порівняти витрати на відпрацювання нового горизонту в кар'єрі з урахуванням якості руди, її фізико-механічних властивостей і глибини залягання (тобто витрат на буро-вибухові роботи, екскавацію і транспортування власне руди і необхідного обсягу розкривних порід, а також переробку руди) із відпрацюванням техногенного родовища з урахуванням відповідних статей витрат. З урахуванням специфіки відпрацювання техногенного родовища витрати на екскавацію і транспортування корисної копалини будуть меншими, ніж для геогенного родовища, а на буро-вибухові роботи – відсутні. Однак руда техногенного родовища може потребувати більших витрат на переробку.

Аналіз сучасного стану гірничих робіт на вітчизняних підприємствах свідчить про значне відставання за розкривними роботами. З метою інтенсифікації гірничих робіт з'являється необхідність застосування крупногабаритного гірничотранспортного обладнання, яке в свою чергу потребує більших робочих площадок і транспортних берм. Все це свідчить про необхідність підвищення продуктивності кар'єрів за розкривними породами.

Оскільки момент початку відпрацювання техногенного родовища настає через значний проміжок часу від введення кар'єру в експлуатацію, а на збагачувальну фабрику при цьому поступає сировина з техногенного

родовища, допускається зниження виробничої потужності кар'єра за корисною копалиною на користь розкривних порід.

Таким чином відпрацювання техногенного родовища буде впливати не тільки на щорічні об'єми виймання корисних копалин, а й на напрямок поглиблення гірничих робіт, що і визначає режим гірничих робіт. Саме тому застосування запропонованого критерію суттєво підвищить точність проектних рішень при визначенні режиму гірничих робіт при комплексному освоєнні родовищ корисних копалин.

Якщо ж реконструкція кар'єра не передбачається або відсутнє відставання за розкривними породами, техногенне родовище виступає в якості компенсації виробничої потужності кар'єра, яка зменшується впродовж періоду затухання гірничих робіт. У випадку, коли гірничі можливості дозволяють підтримувати виробничу потужність на стабільному рівні або коли техногенне родовище сформоване з нерудних корисних копалин, його відпрацювання приносить додатковий прибуток.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином шляхом вдосконалення існуючого критерію максимуму чистого дисконтованого прибутку в роботі розроблено критерій оцінки режиму гірничих робіт при комплексному освоєнні надр з урахуванням сумісного відпрацювання техногенних і геогенних родовищ в сучасних ринкових умовах.

Доведено, що підвищення ефективності проектних рішень щодо вибору раціонального режиму гірничих робіт при комплексному освоєнні родовищ досягається при використанні запропонованого критерію максимуму чистого дисконтованого прибутку від сумісного відпрацювання геогенних і техногенних родовищ.

Список літератури

1. Параметры глубоких железорудных карьеров при их доработке // О.А. Медведева.. –Киев: Наукова думка, 2013. –127 с.
2. Колесников Д.В., Короленко М.К., Ступник Н.И., Удод Е.Г., Протасов В.П., Олейник Т.А. Повышение извлечения железа за счёт переработки сырья техногенных месторождений Кривбасса. –Кривой Рог: Дионис, 2012. –236 с.
3. Про надра : Закон України // Відомості Верховної Ради України від 27.07.1994. –№ 36, стаття 341.
4. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : Закон України // Відомості Верховної Ради України від 17.05.2012. – № 44, стаття 457.
5. Григор'єв Ю.І. Аналіз теоретичних основ і методології оцінки сумісної комплексної оцінки техногенних і геогенних родовищ // Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов – вип. 110, –2013.
6. М.М. Пижик, В.В. Терещенко, Ю.І. Григор'єв. Сучасні підходи до визначення оптимальних проектних рішень при комплексному освоєнні

родовищ корисних копалин із застосуванням критерію максимуму прибутку в умовах ринкової економіки // Вісник Криворізького національного університету – вып. №37, -2014, -С. 273-276.

УДК 553.3:622.27

ГРИЦЕНКО А.Н. младший научный сотрудник, ЧЕРКАСОВ А.В. старший научный сотрудник, ШВИДКИЙ А.В. научный сотрудник, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ РУДНЫХ БЛОКОВ

В статье рассмотрено влияние количества опробуемых скважин и их расположение на точность геофизического опробования блока.

В статті розглянуто вплив кількості випробовуваних свердловин та їх розміщення на точність гефізичного випробовування блоку.

The paper considers the influence of the number oprobuemyh wells and their location on the accuracy of geophysical testing unit.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Месторождения железистых кварцитов, отрабатываемые карьерами горно-обогатительного комплекса ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», имеют сложное геологическое строение (перемещаемость железистых и сланцевых горизонтов, наличие разрывных нарушений и складчатости разных порядков). Рудные толщии месторождения существенно различаются по минеральному и химическому составу, текстурно–структурным признакам, физико-механическим свойствам. Добываемая на карьерах руда имеет полиминеральный состав и представлена семью минеральными разновидностями магнетитовых кварцитов, которые разубоживаются некондиционными прослоями. Содержание железа общего в добытой руде колеблется в диапазоне от 20 до 40%, содержание железа, связанного с магнетитом – от 10 до 35%.

Существующая на горно-обогатительном комплексе ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» система контроля качества минерального сырья в цепи «карьер - обогатительная фабрика» обеспечивает только периодический контроль качества на отдельных участках переработки руды, причем результаты этого контроля технологи получают только через 2 – 2,5 часа после отбора проб. В результате такого запаздывания возникает "цепная реакция" неоптимальных решений по корректировке технологического процесса, вызывающая снижение технико-экономических показателей переработки железорудного сырья.