

М.І. СТУПНІК, В.О. КАЛІНІЧЕНКО, доктори техн. наук, проф.,
М.Б. ФЕДЬКО, І.О. МУЗИКА, С.В. ПИСЬМЕННИЙ, кандидати техн. наук, доц.,
О. В. КАЛІНІЧЕНКО, канд. економ. наук, доц.
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ ПРИ ЙОГО ОБВАЛЕННІ НА ПОХИЛЕ ОГОЛЕННЯ

Мета. Удосконалення методики визначення параметрів буровибухових робіт за рахунок врахування коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід при обваленні масиву на похиле оголення в умовах напружено-деформованого стану масиву гірських порід.

Методи дослідження. Застосування аналітичного методу досліджень дозволило врахувати вплив кута нахилу похилого оголення на напружено-деформований стан масиву, що підлягає обваленню. Математичними методами виявлені закономірності та встановлені залежності, які дають можливість адекватно врахувати кут нахилу похилого оголення при коригуванні параметрів буровибухових робіт. Враховуючи практику роботи шахт Кривбасу запропоновані певні обмеження діапазону визначення коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає у встановленні нових закономірностей впливу коефіцієнта енергоємності відбійки гірського масиву на параметри буровибухових робіт. Визначені нові залежності впливу напружено-деформованого стану масиву на параметри буровибухових робіт при обваленні на похиле оголення (компенсаційний простір) з урахуванням кута його нахилу. Встановлені обмеження діапазону отриманих чисельних значень даного коефіцієнта при відбійці масиву на будь-який тип оголень.

Практична значимість. Удосконалено методику коригування параметрів буро-підричних робіт в залежності від змінення напружено-деформованого стану рудного масиву при його обваленні на будь-який тип оголення (горизонтальне, вертикальне або похиле). Розроблена методика виключає можливості отримання некоректних результатів в умовах відбійки, коли стан оголень може бути критичним з точки зору їх імовірного самообвалення. Створена спеціалізована комп'ютерна програма, яка дозволяє оперативно отримувати значення основних параметрів буровибухових робіт для конкретних умов та аналізувати прогнозні значення якості подрібнення масиву, який підлягає обваленню.

Результати. Запропонована методика визначення коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід при обваленні масиву на похиле оголення, яка дає можливість враховувати кут його нахилу. Запропоновані обмеження стосовно розрахованих чисельних значень вищезазначеного коефіцієнта.

Ключові слова: підземна розробка, параметри буровибухових робіт, напружено-деформований стан масиву.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-84-87

Постановка проблеми. Останнім часом у зв'язку із кризовими явищами все гостріше постає питання пошуку додаткових резервів зменшення собівартості видобутку руди, зокрема й підземним способом. Значну частину у собівартості видобутку залізних руд займають буро-підричні роботи (БВР), що пов'язано із високою вартістю вибухових речовин (ВР) і засобів підривання та дуже великими затратами на розбурювання масиву. Тому підвищення ефективності цього важливого виробничого процесу, який суттєво впливає також на показники наступної виробничої операції (випуску та доставки обваленної руди) є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує багато різних методик, які давно відомі і досить повно висвітлені у науково-технічній літературі [1-3], які дають можливість визначити основні параметри БВР при домінуючій при підземному видобутку багатих залізних руд свердловинній відбійці, а саме лінії найменшого опору W та відстані між кінцями свердловин a при найбільш застосовуваному віяловому їх розташуванні у масиві, що підлягає обваленню.

Однією з найбільш поширених є методика проф. Ю.П. Капленка [4], яка затверджена у якості галузевої для залізрудних шахт Кривбасу та Запорізького ЗРК, а також використовується студентами при виконанні курсових та дипломних проектів. Дана методика базується на так званому показникові підриваємості гірських порід C_0 , який комплексно враховує усі основні фактори, що впливають на ефективність відбійки. На виробництві, головним чином, застосовують її спрощений варіант, який враховує коефіцієнт міцності гірських порід, їх неоднорідність, діаметр свердловин, роботоздатність ВР та щільність її зарядження. У переважній більшості випадків отримані у результаті розрахунків параметри БВР повністю задовольняють виробників, оскільки дана методика ґрунтується, власне, на величезній кількості промисло-

вих досліджень й пройшла дуже чисельну і тривалу апробацію. Але дана методика у своїй повній версії також дозволяє враховувати рівень напружено-деформованого стану (НДС) масиву, що дозволяє дещо скоригувати основні параметри БВР. І хоча ця частина даної методики також достатньо висвітлена у технічній літературі [3], широкого застосування на виробництві вона не отримала. З нашої точки зору головними факторами, що стримують її більш широке застосування є:

по-перше – значно вища складність розрахунків;

по-друге – відсутність вагової мотивації інженерно-технічних працівників у застосуванні більш громіздкої, а можливо й не досить зрозумілої для них методики.

Згідно даної методики при проектуванні БВР напружено-деформований стан масиву визначають за допомогою коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід k_σ , який дорівнює відношенню питомих витрат ВР, встановлених з урахуванням впливу глибини гірничих робіт та розмірів очисного простору q_σ до питомих витрат ВР, визначених згідно їх міцності q_f .

Виділення невирішеної проблеми. Головним недоліком вищезазначеної методики є те, що *по-перше*, вона дозволяє визначати чисельне значення k_σ тільки при відбійці руди на горизонтальні або на вертикальні оголення. В той же час на шахтах Кривбасу останні роки все більшого застосування набуває похилий тип оголень компенсаційних просторів, причому як при використанні підповерхово-камерних систем розробки, так і систем підповерхового обвалення.

По-друге, існуюча методика не містить ніяких обмежень, що у ряді випадків може призводити до отримання некоректних результатів.

Метою досліджень є удосконалення методики визначення параметрів буровибухових робіт за рахунок врахування коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід при обваленні масиву на похиле оголення в умовах напружено-деформованого стану масиву гірських порід.

Основна частина. Чисельне значення коефіцієнта k_σ визначають з виразів:

при відбійці руди на горизонтальне оголення (компенсаційний простір)

$$K_\sigma = 1,5 + \frac{1}{q_f} \cdot \left(0,4 \cdot e^{-\frac{B}{W_f}} - \frac{S_z \cdot \sqrt{H}}{f \cdot 10^4} \right); \quad (1)$$

при відбійці на вертикальну відрізну щілину (компенсаційну камеру)

$$K_\sigma = 1,5 + \frac{1}{q_f} \cdot \left(0,4 \cdot e^{-\frac{B}{W_f}} - S_e \sqrt{\frac{H\mu}{1-\mu}} / f \cdot 10^4 \right), \quad (2)$$

де q_f - питомі витрати ВР по міцності порід, кг/т; B - ширина очисного простору, м; W_f - лінія найменшого опору, розрахована для даної міцності порід f , м; S_z, S_e , - площа, відповідно, горизонтального або вертикального очисного простору, м²; H - глибина ведення гірничих робіт, м; μ - коефіцієнт Пуассона, долі од.

У випадку, коли чисельне значення коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід k_σ є меншим 1, це вказує на те, що масив знаходиться у зоні понижених або розтягуючих напружень, які його ослаблюють. Це дає можливість без погіршення якості подрібнення руди при її відбійці збільшити параметри сітки розбурювання, зменшивши при цьому кількість та загальну довжину свердловин, кількість ВР та засобів підривання, що сприятиме певному зростанню продуктивності праці та зменшенню затрат на даному виробничому процесі.

При значенні k_σ більше 1 це вказує на домінуванні в масиві стискуючих напружень, які навпаки, ускладнюють руйнування масиву, оскільки при відбійці окрім природних сил, що характеризуються коефіцієнтом міцності даних порід, додатково ще треба подолати стискуючі напруження. І якщо даний фактор не буде враховано, то за певних обставин (а саме – дії у масиві підвищених стискуючих напружень), це може призвести до погіршення якості подрібнення руди, яке буде характеризуватися підвищеним виходом негабаритних кусків з усіма витікаючими наслідками.

З урахуванням НДС масиву показник підриваєомості гірських порід, величину лінії найменшого опору та питомі витрати ВР на відбійку визначають з формул

$$C_\sigma = C_o / \sqrt[3]{K_\sigma}; \quad (3)$$

$$W_{\sigma} = W_o / \sqrt[3]{K_{\sigma}}, \text{ м}; \quad (4)$$

$$q_{\sigma} = q_f \cdot K_{\sigma}, \text{ кг/т. т} \quad (5)$$

Виконавши аналітичні дослідження ми пропонуємо визначати значення коефіцієнта k_{σ} при обваленні рудного масиву на похиле оголення (компенсаційний простір) з виразу

$$k_{\sigma}^n = k_{\sigma}^e + (k_{\sigma}^e - k_{\sigma}^c) \tan^2 \theta / 2, \quad (6)$$

де $k_{\sigma}^e, k_{\sigma}^c$ - значення коефіцієнта k_{σ} при відбійці руди відповідно на вертикальне та горизонтальне оголення (компенсаційний простір); θ - кут нахилу похилого оголення, град.

Якщо проаналізувати даний вираз то побачимо, що при $\theta=0^{\circ}$ та $\theta=90^{\circ}$ (тобто при горизонтальному та вертикальному оголеннях) значення k_{σ}^n стає тотожним, відповідно, k_{σ}^e та k_{σ}^c , й чим більшим буде кут нахилу похилого оголення θ (тобто при збільшенні його стійкості за рахунок зростання в масиві зони дії стискуючих напружень та їх абсолютних значень), тим більшим стає і значення коефіцієнта k_{σ}^n .

На рис. 1 приведено графік змінення чисельних значень коефіцієнта k_{σ}^n залежно від кута нахилу похилого оголення θ для конкретних умов, а саме: коефіцієнті міцності руди за шкалою проф. М.М. Протод'яконова $f=6$ балів; площі оголення $S=400 \text{ м}^2$; глибини ведення робіт $H=1200 \text{ м}$ та коефіцієнті Пуассона $\mu=0,3$.

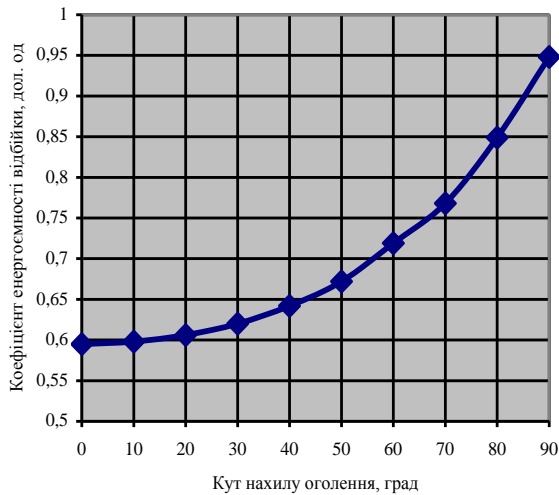


Рис. 1. Графік залежності коефіцієнта енергоємності відбійки гірських порід k_{σ}^n в залежності від кута нахилу похилого оголення θ

Як видно з рисунку, при кутах нахилу похилого оголення до 20-30 суттєвої різниці між значеннями коефіцієнтів k_{σ}^e та k_{σ}^c не буде, а суттєве збільшення значення k_{σ}^n спостерігається при кутах нахилу похилого оголення від 40-50 $^{\circ}$ та більше. Така поведінка масиву є цілком логічною, підтверджується чисельними експериментальними дослідженнями при моделюванні напружено-деформованого стану породних масивів, виконаних нами на попередніх етапах досліджень геомеханічних процесів [5-7] та візуальними спостереженнями, що

здійснювались на шахтах Кривбасу. Аналогічна залежність зростання стійкості похилих оголень приведена у роботі [8], що також підтверджує коректність отриманих результатів.

Стосовно певних обмежень до вищезазначеної методики то ми вважаємо, що при отриманні значень коефіцієнта k_{σ} , які є меншими, ніж 0,4-0,5 стан оголень та приконтурної до них ділянки масиву буде критичним внаслідок розвитку в ньому зони розтягуючих напружень, внаслідок чого існує висока імовірність їх самообвалення. Тому в таких випадках необхідно додатково перевіряти стійкість конкретного оголення за інструкцією НДГРІ [8].

Окрім цього для більшої зручності виконання за даною методикою розрахунків, а також визначення показників якості подрібнення руди в конкретних умовах при запроєктованих параметрах БПР (діаметра середнього куска підірваної гірничої маси, виходу негабаритних кусків), визначення яких також можливе за вищезазначеною методикою проф. Ю.П. Капленка, але розрахунок яких є досить трудомістким враховуючи громіздкість емпіричних рівнянь, якими описуються ці залежності, нами створена спеціалізована комп'ютерна програма, яка дає можливість оперативного отримання значень основних параметрів БПР як за міцністю порід, так і з урахуванням їх напружено-деформованого стану. Спрощення виконання цих розрахунків дає підставу для широкого застосування даної методики у виробничих умовах, що в свою чергу у багатьох випадках (тобто за сприятливих умов відбійки) дозволяє більш масштабно застосувати на наших шахтах безтротилові ВР. Це також сприятиме суттєвому зменшенню затрат на відбійку, що в умовах підземного видобутку залізних руд у підсумку дає можливість отримати значний економічний та соціальний ефект, що обґрунтовано у роботах [9,10].

Висновки. Удосконалена методика проф. Ю.П. Капленка, яка враховує вплив НДС масиву на умови його відбійки, може бути застосована для розрахунків параметрів БВР для будь-яких типів оголень (компенсаційних просторів), власне самі розрахунки можуть бути виконані дуже швидко за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми, що дозволяє оперативно здійснювати попередній аналіз основних показників відбійки масиву та якості його подрібнення (питомі витрати ВР, вихід руди з 1 м свердловини, діаметр середнього куска обваленої руди, вихід негабариту), а узгодження у деяких випадках отриманих даних із стійкістю самих оголень та масиву, що підлягає обваленню, дасть можливість уникнути отримання некоректних результатів.

Список літератури

1. **Баранов А.О.** Расчет параметров технологических процессов подземной добычи руд. – М.: Недра, 1985. – 224 с.
2. Справочник по горно рудному делу / Под. ред. **В.А. Гребенюка, Я.С. Пыжьянова, И.Е. Ерофеева.** – М.: Недра, 1983. – 816 с.
3. **Маргинов В.К.,** Федько М.Б. Розрахунки основних виробничих операцій, процесів та систем розробки рудних родовищ.- Кривий ріг: Видавн. центр КТУ, 2010. – 274 с.
4. **Капленко Ю.П.** Методические указания по расчету параметров буровзрывных работ.-Кривой Рог: КГРИ, 1982.-42с.
5. **Ступник Н.И.** Влияние напряженно-деформированного состояния массива горных пород на технологию отбойки урановых руд / **Ступник Н.И., Калиниченко В.А., Федько М.Б., Мирченко Е.Г.** // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2013. – № 2. – С. 11-16.
6. **Stupnik N.I.** The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine “Gigant-Gliboka” of central iron ore enrichment works (CGOK) / **Stupnik N.I., Kalinichenko V.O., Kalinichenko O.V., Muzika I.O., Fedko M.B., Pismennyi S.V.** // Metallurgical and mining industry, №7. – 2015. – pp. 83-88.
7. **Stupnik N.I.** Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / **Stupnik N.I., Kolosov V.A., Kalinichenko V.O., Pismennyi S.V., Fedko M.B.** // Metallurgical and mining industry, №2. – 2014. – pp. 89-93.
8. Визначення та контроль допустимих розмірів конструктивних елементів систем розробки залізних руд. Інструкція по застосуванню / Є.К. Бабець та ін.- Кривий Ріг: Ротапринт ДП «НДГРІ», 2010. – 122с.
9. **Ступник Н.И.** Перспективы использования бестротилового взрывчатых веществ на рудниках с подземной добычей полезных ископаемых / **Ступник Н.И., Калиниченко В.А., Федько М.Б., Мирченко Е.Г.** // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2013. – № 1. – С. 44-49.
10. **Колосов В.А.** Экономические аспекты перехода на бестротильные взрывчатые вещества при подземной добыче руд в Криворожском бассейне / **Колосов В.А., Калиниченко Е.В., Федько М.Б., Письменный С.В.** // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2014. – № 4. – С. 112–119.

Рукопис подано до редакції 07.02.17

УДК 622.7: 658.562

О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

НЕЧІТКА ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ЗБАГАЧЕННЯМ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Мета. Метою даної роботи є обґрунтування використання методів планування експерименту та регресійного аналізу і мультиагентного керування для моделювання процесів збагачення залізної руди. Складність, нестаціонарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та реєквів між механізмами обумовлюють застосування зазначених методів автоматизованого керування технологічними процесами.

Методи дослідження. Проведено аналіз сучасних методів та засобів моделювання процесів роботи технологічних механізмів. Особливу увагу приділено розподілені системам керування та доцільності їх використання у складному технологічному процесі для моделювання зв'язків між механізмами. З метою моделювання роботи окремих механізмів проаналізовано сучасні напрямки автоматизованого керування, їх переваги та недоліки стосовно застосування до вирішуваної проблеми.

Наукова новизна. Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є обґрунтування вибору методів мультиагентного керування та регресійного аналізу у порівнянні з класичним розподілені керуванням та іншими сучасними методами інтелектуального керування.

Практична значимість. Обґрунтовано застосування мультиагентного керування, для моделювання інформаційних зв'язків між технологічними механізмами. Проаналізовано сучасні засоби інтелектуального керування стосовно моделювання окремих механізмів – засоби нечіткої логіки, штучного інтелекту, оптимального та адаптивного керування, генетичні алгоритми, гібридні моделі та методи планування експерименту.