

12. Ефремов В.С. и др. Подготовка блоков при разработке рудных залежей. – М.: Недра, 1974. – 208 с.
13. Ривкин И.Д., Волощенко В.П., Маймин Л.Р. Инструктивные указания по определению параметров систем разработки с обрушением по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения горных работ на шахтах Кривбасса: Утв. 05.03.64. – НИГРИ. – Кривой Рог, 1964. – 37 с.
14. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. – 208 с.
15. Зубков А.В., Леликов В.П., Пятков Ю.Ф. Распределение давления в днище блока в ходе ведения очистных работ // Подземная добыча руд черных металлов: Сб. научн. тр. / НИГРИ. – Кривой Рог, 1979. – С. 61–63.
16. В.І. Rymarchuk, О.Л. Shepel, М.У. Khudyk Expediency of application of the vertical concentrated charges to decrease losses of ore on a lying wall of deposits // Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2017.– no.3, P. 32–37.

Рукопис подано до редакції 25.03.2020

УДК 622.274.3:622.22

С.В. ПИСЬМЕННИЙ, канд.техн.наук
Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ВМІСТУ ЗАЛІЗА В ВИДОБУТІЙ РУДНІЙ МАСІ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ БАГАТИХ ЗАЛІЗНИХ РУД В УМОВАХ РОЗВИТКУ ГІРСЬКОГО ТИСКУ

Мета. Метою виконаних досліджень є підвищення показників вилучення рудної маси при розробці багатих залізних руд за рахунок зміни форми очисної камери та обґрунтування її стійких параметрів в умовах прояву гірського тиску.

Методи досліджені. Впровадження на комбінатах ресурсозберігаючих технологій на окремих технологічних процесах дозволяє підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі на 0,5–1,5% без збільшення собівартості видобутку. Підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі можливо за рахунок застосування очисних камер зі збільшеним об'ємом. Існуючі методики, що застосовуються на шахтах для визначення конструктивних елементів системи розробки ґрунтуються на розрахункових еквівалентних прольотах оголення очисних камер прямокутної або шатрової форм. Також вони не враховують гірський тиск, який діє в межах виймального блоку та зміну напружень в залежності від геометричних параметрів покладу.

Наукова новизна. Вперше за допомогою програмного комплексу ANSYS встановлено, що при формуванні компенсаційної камери квазіпараболічної форми дозволяє суттєво зменшити концентрацію напружень навколо очисного блоку. Так, формування очисної камери квазіпараболічної форми дозволяє знизити вертикальні напруження у порівнянні з горизонтальними, при цьому без зростання горизонтального тиску.

Практична значимість. При відпрацюванні виймального блоку запропоновано очисну камеру формувати квазіпараболічної форми з геометричними параметрами які безпосередньо залежать від параметрів покладу, глибини розробки та напряму дії головних напружень.

Результати. Встановлені залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід та довжини за простяганням рудного покладу. Так в залежності від дії впливу розробки та довжини за простяганням гірський тиск на очисну камеру квазіпараболічної форми зменшується при нерівномірному навантаженні. Формування очисної камери квазіпараболічної форми дозволить збільшити об'єм чистої руди, що вилучається з блоку в 1,2–1,5 рази.

Ключові слова: підземна розробка, квазіпараболічна камерна, якість, головні напруження, склепіння.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-87-93

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Залізні руди Криворізького залізорудного басейну відпрацьовуються підземним способом на глибині нижче 1350 м з вмістом корисного компоненту в масиві 58–67% [1–4]. При застосуванні традиційних систем розробки вміст заліза в видобутій рудній масі не перевищує 59–61%. Зменшення вмісту заліза в видобутій рудній масі призводить до втрат світового ринку збуту, це пов'язано з тим, що ринок потребує продукцію з мінімальним вмістом заліза в товарній продукції 62%.

З метою залазитись на світовому ринку, гірничо-добувні підприємства підвищують ефективність відпрацювання родовищ за рахунок удосконалення окремих технологічних процесів, а саме впроваджують на першій стадії підземного видобутку очисного блоку новітні елементи технології системи розробки [5–8]. Дані дослідження дозволяють зменшити собівартість видобутку в 1,2–1,4 рази з забезпеченням показників вилучення на рівні 84–88%. Слід зауважити, що запропоновані елементи технології систем розробки не дозволяють суттєво підвищити вміст заліза в видобутій рудній масі.

Таким чином, розробка удосконалення технологій відпрацюванні покладів природно-багатих руд на значних глибинах, яка забезпечить високі показники вилучення на першому етапі є вельми актуальним.

Аналіз досліджень і публікацій. В Криворізькому залізорудному басейні з пониженням глибини розробки при застосуванні традиційних систем розробки навколо виробленого простору одночасно виникають зони підвищеного та пониженого тиску. Це призводить до вивалоутворень [9-11], а як наслідок додаткового засмічення руди до початку відпрацювання очисного блоку (етап утворення компенсаційного простору).

Так, на руднику Кіруна (Швеція), що розробляє залізорудне родовище з метою підвищення якості корисного компоненту в видобутій рудній масі в кінцевому продукті на стадії транспортування здійснюється її сортування [12]. Це дозволяє отримувати кінцевий продукт відповідної якості корисного компоненту без застосування процесу збагачення, при цьому показники вилучення чистої руди складають 90–92%. При застосуванні в умовах Криворізького залізорудного басейну технологію розробки, яка застосовується на руднику Кіруна призведе до збільшення експлуатаційних витрат в 2–5 разів.

Досвід роботи шахт Криворізького залізорудного басейну довів, що на ефективність відпрацювання родовищ впливає порядок очисного виймання та система розробки [13-15]. Так, при застосуванні системи розробки з торцевим випуском автори робіт [13,15], прийшли до висновку, що випереджувальна виїмка пластів зі сторони висячого боку знижує гірський тиск в рудному тілі основного простягання.

В роботах [16-18] з метою збільшення вмісту корисного компоненту в видобутій рудній масі пропонується селективна розробка багатих руд системами з масовим обваленням та з відкритим очисним простором. Запропоновані технологічні рішення дозволяють суттєво підвищити вміст корисного компоненту в видобутій рудній масі на 2–5 % без збільшення собівартості видобутку та впровадження додаткових технологічних процесів збагачення. Однак, при застосуванні даних систем розробки в нестійких породах, на етапі підготовки очисного блоку до виймання в компенсаційний простір потрапляють пусті породи, які суттєво погіршують показники вилучення [19].

В результаті виконаних досліджень [9], встановлено, що форма компенсаційного простору суттєво впливає на стійкість гірського масиву в умовах прояву гірського тиску. Так, доведено, що при відробці покладу основного простягання з використанням похилої компенсаційної камери нормальні напруження в верхній частині прольоту оголення зменшуються в 4 рази. А найбільш нестійкою формою камери є горизонтальна, у зв'язку збільшення нормальних напружень у порівнянні з вертикальною або похилою компенсаційними камерами на значних глибинах в 2 рази.

Згідно даним практики та теоретичним дослідженням до найбільш стійких форм виробленого простору слід віднести виробки круглої, шатрової та склепінної. При розробці крутоспадних пластоподібних рудних покладів відпрацювати виймальний блок із застосуванням очисних камер круглої або шатрової форм практично не можливо, що обумовлено гірничо-геологічними умовами Криворізького залізорудного басейну. Створення очисної камери висотою 45–90 м склепінної форми для умов Криворізького залізорудного басейну призводить до втрат руди при відпрацюванні міжкамерних ціликів до 20–25%. При зменшенні втрат руди до нормативних 16% коефіцієнт вилучення чистої руди не перевищує 70%.

Таким чином, виникає необхідність в удосконаленні технології при відпрацюванні багатих залізних руд, яка дозволить збільшити вміст заліза в видобутій рудній масі в умовах прояву гірського тиску на значних глибинах.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити параметри стійких оголень очисної камери параболічної форми в залежності від дії головних напружень в гірському масиві предсталеним породами нижче середньої стійкості при розробці рудних покладів на значних глибинах.

Викладення матеріалу та результати. Ефективність системи розробки визначається показниками вилучення та собівартістю видобутку рудної маси [20]. Для підвищення ефективності системи розробки доцільно збільшити об'єм очисної камери при забезпеченні її стійких параметрів.

Збільшення об'єму прямокутної очисної камери в 1,1–1,5 рази призводить до зменшення її

стійкості та збільшенню: ширини ціликів, часу на відпрацювання блоку (панелі), експлуатаційних витрат, витрат на відпрацювання міжкамерних ціликів.

Згідно дослідженням [21] форма очисної камери повинна бути наближена до фігури випуску, яка представляє собою еліпс. Слід зауважити, що умови стійкості камери при цьому не визначались. В роботі [22] автор стверджує, що при створенні очисних камер параболічної форми стійкість камери підвищується, а її об'єм збільшується, рис. 1.

Координати точок кривої KLM , яка описує камеру параболічної форми, рис. 1 визначається виразом

$$y = -c \cdot \frac{\int (x^{2k-1} dx)}{\sqrt{(b^2 - x^2)^r}} \text{ при } k > 0,5; 0 < r < 2,$$

де c, k – дійсні числа; r – найменше непарне дійсне число; x, y – поточні координати.

Рис. 1. Розрахункова схема до визначення об'єму камери параболічної форми: 1 – контур камери прямокутної форми; 2 – контур камери параболічної форми

При зміні значень x від 0 до b крива функції убуває, при цьому крива ML буде опуклою при всіх значеннях похідної $-b < x < b$. Стійкість очисної камери забезпечується у випадку коли діючі максимальні напруження в гірському масиві менші за межу міцності руди або порід оточуючих її. Умова стійкої рівноваги описується виразами [22-24], т/м²

$$\sigma_{max} \leq [\sigma], \quad \tau_{max} \leq [\tau], \quad \sigma \gg \tau,$$

де σ_{max} – максимальні напруження внутрішніх сил, в масиві, т/м²; τ – максимальні дотичні напруження, що виникають в масиві, т/м²; $[\sigma]$ – межа міцності матеріалу, т/м².

Відомо, що при розрахунку стійкості ціликів основним критерієм є вигін [22, 25]. Однак, в породах гірського масиву при перевищенні максимальних напружень утворюються зони тріщин, які призводять до зниження межі міцності цілика складеного гірськими породами, а з часом до його руйнування.

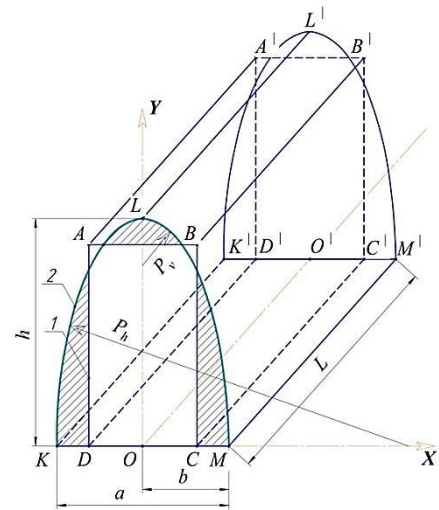
В роботі [24] доведено, що на головні вертикальні напруження впливають об'ємна маса та глибина розробки. В непорушеному гірському масиві головні вертикальні напруження є максимальними, а при проведенні підземних гірничих робіт вони залишаються без змін, або зменшуються. Таким чином, значення руйнівного тиску повинно задовольняти граничним умовам [22, 23], т/м²

$$\begin{cases} [\sigma] \geq \sigma_3, \\ \sigma_3 = \gamma \cdot H, \end{cases}$$

де σ_3 – головні вертикальні напруження, т/м²; γ – об'ємна маса гірських порід, т/м³; H – глибина ведення гірничих робіт, м.

Згідно досліджень [9, 22] доведено, що руйнівний тиск, який виникає на контурі камери залежить від радіусу криволінійного оголення виробки, куту прикладеного навантаження та фізико-механічних властивостей гірських порід. За результатами досліджень [9] об'єм камери параболічної форми визначають з виразу, м³

$$V = \pm 2 \cdot L \cdot a \cdot \int_0^b \left(2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2}{[\sigma_{st}]}} \right) \cdot \sqrt[4]{1 - \frac{x^2 dx}{4 \cdot \sigma_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sigma_3^2 \cdot \cos \beta \cdot \text{tg } \rho}{[\sigma_{st}]^2}}}} \right)^3, \quad (1)$$



де L – довжина очисної камери за простяганням, м; a – ширина очисної камери параболічної форми, м; β – кут зсуву гірських порід, град.; ρ – кут внутрішнього тертя гірських порід, град.; $[\sigma_{st}]$ – межа міцності порід на стискання, т/м².

Слід зауважити, що загальний тиск σ_3 , який входить в формулу (1) визначається як рівномірно-розподілене навантаження. При визначенні навантаження на очисну камеру (виймальний блок) слід враховувати вагу налягаючих порід в залежності від порядку та черги відпрацювання блоку в поверсі.

Перший – навантаження від порід приймається як рівномірно-розподілене, коли висота динамічного зводу більше висоти обвалених порід до земної поверхні. В цьому випадку на камеру діє повна вага налягаючих вище порід, яка визначається за формулою, т/м²

$$\sigma_3 = \gamma_b \cdot H \cdot K_l, \quad (2)$$

де γ_b – об'ємна вага обвалених порід, т/м³; K_l – коефіцієнт розрихлення вищележачих порід у зоні обвалення.

Другий – навантаження визначається вагою порід, ув'язнених у зводі нестійкої рівноваги, коли висота склепіння нестійкої рівноваги менша глибини розробки та виконується умова, м

$$h_v \ll H,$$

де h_v – висота динамічного зводу, м.

Відповідно до гіпотези склепіння [23], тиск на блок визначається вагою налягають порід, ув'язнених у зводі нестійкої рівноваги або динамічно-розвантаженого куполу (зводу), з якого частинки рухаються тільки під власною вагою. При великій прохідності частинок і малому куті внутрішнього тертя витікання відбувається дуже плавно, а під дією вертикальних сил звод руйнується, в зв'язку з чим спостерігаються пульсуючі поштовхи.

Швидкість випадіння або заміщення частинок в динамічному зводі визначається висотою еліпсоїду нестійкої рівноваги, площею поверхні динамічного зводу, внутрішнім тертям між поверхнями частинок, а крива динамічного зводу описується рівнянням [22]

$$y^2 = 2 \cdot p \cdot x,$$

де p – висота фігури склепіння (динамічного зводу), м; x – поточна координата по осі x-x.

Питоме навантаження на камеру від вміщуючих порід, ув'язнених у зводі нестійкої рівноваги, визначаємо за формулою [9], т/м²

$$\sigma_3 = \frac{\pi \cdot L \cdot \gamma_b}{8 \cdot f_r}, \quad (3)$$

де f_r – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Вертикальний тиск завжди менше ніж горизонтальний, але на деяких рудниках, тиск може обернено змінюватись. Горизонтальний тиск визначається за формулою [23, 24], т/м²

$$\sigma_{1,2} = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_3, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона.

Виконавши розрахунки за формулами (2), (3) та (4), побудовані залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід, рис. 2.

З графіків приведених на рис. 2 видно, що при рівномірно-розподіленому навантаженні, зі збільшенням глибини розробки з 800 до 1600 м тиск збільшується з 1760 до 3520 т/м³, при цьому горизонтальний тиск зменшується з 828 до 1656 т/м³. У випадку, коли тиск від ваги склепіння нестійкої рівноваги тиск не залежить від глибини розробки та залишається постійним, при довжині за простяганням шахтного поля 1000 м, тиск дорівнює 1727 т/м³.

На рис. 3 приведені залежності зміни тиску в склепінні від довжини рудного покладу за простяганням.

З рис. 3 видно, що зі збільшенням довжини підробки рудного покладу з 600 до 1400 м, тиск в склепінні збільшується з 1036 до 2418 т/м³. Таким чином, зменшити тиск в блоці можливо шляхом зменшення довжини підробки рудного покладу, за рахунок залишення опорних ціликів або розподілу довжини покладу на окремі виймальні блоки.

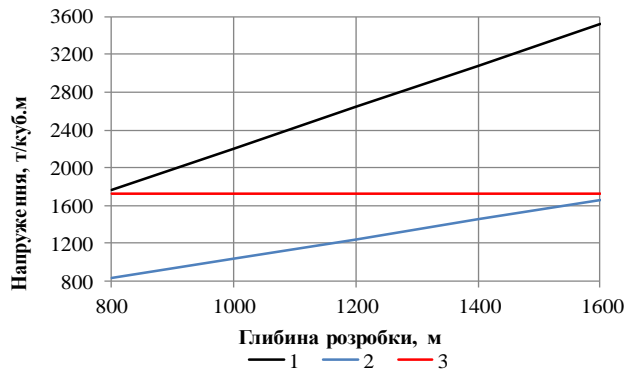


Рис. 2. Залежності величини напружень від глибини розробки та фізичних властивостей порід: 1 – рівномірно-розподілене вертикальне навантаження; 2 – горизонтальне навантаження; 3 – навантаження в склепінні

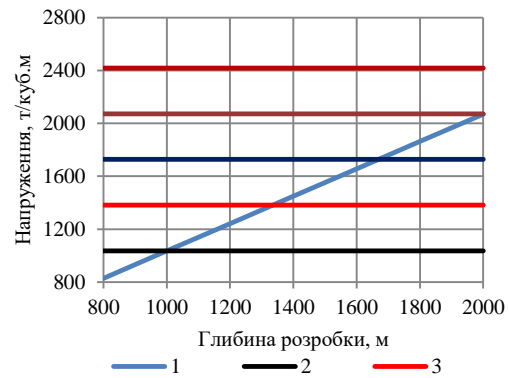


Рис. 3. Залежності величини напружень від глибини розробки та довжини за простяганням рудного покладу: 1 – горизонтальне навантаження; 2, 3, 4, 5 – навантаження у склепінні при довжині покладу відповідно 600, 800, 1000, 1200 та 1400 м

З метою підтвердження теоретичних досліджень були проведені лабораторні експерименти чисельним методом з використання кінцевих елементів. Для цього за допомогою програмного комплексу ANSYS були виконані дослідження розподілу еквівалентних напружень навколо очисних камер прямокутної та квазіпараболічної форм, рис. 4.

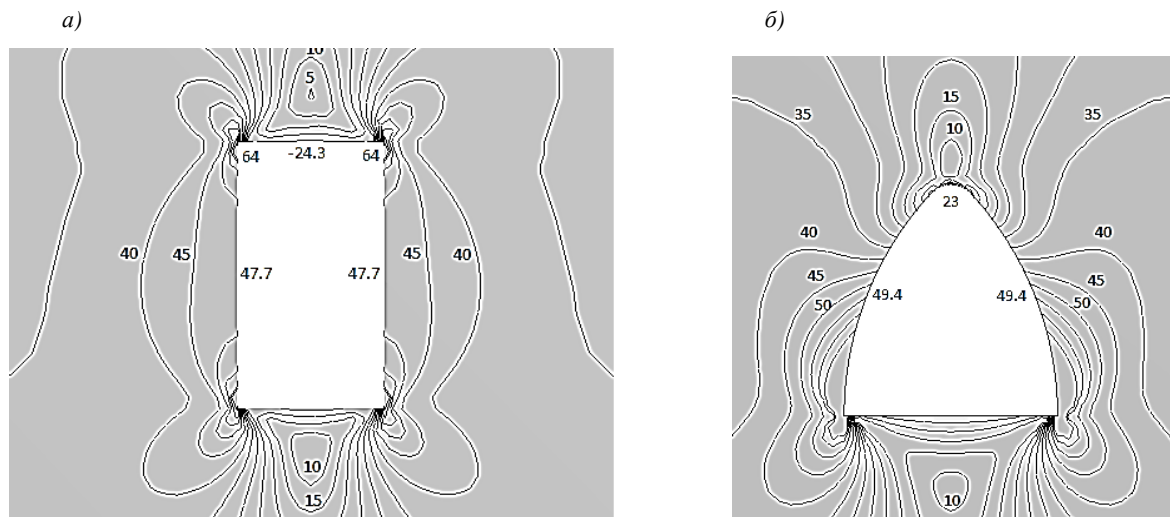


Рис. 4. Розподіл еквівалентних напружень навколо очисної камери: а – прямокутної форми; б – параболічної форми

Слід враховувати, що даний програмний комплекс розраховує еквівалентні напруження в масиві. Тому, за методикою [60] були визначенні стійкі параметри конструктивних елементів очисної камери (ширина, довжина, еквівалентний прогін оголення) за згідно гірничо-геологічним умовам шахти Тернівська публічного акціонерного товариства Криворізький залізрудний комбінат.

Вихідними даними для розрахунків були наступні: питома вага порід 2800 кг/м^3 ; межа міцності на стиснення 60 МПа ; межа міцності на розтягнення 9 МПа ; модуль Юнга 50000 МПа ; коефіцієнт Пуассона $0,23$; площа поперченого перетину камери 1970 м^2 ; глибина розробки 1200 м . Параметри для очисної камери прямокутної форми приймалися наступні: ширина 33 м , висота 60 м . Для камери параболічної форми: радіус вертикального оголення $77,5 \text{ м}$, горизонтального 5 м , ширина очисної камери 50 м а висота 60 м .

Аналізуючи розрахункові дані (рис. 4) встановлено, що на контурі очисної камери в середній частині діють стискаючі напруження які відрізняються не більше ніж на $3,45 \%$. Слід зауважити, що об'єм очисної камери параболічної форми був збільшений в $1,2$ рази у порівнянні з камерою прямокутної форми, при цьому, еквівалентні напруження з боків камери мають однакові значення.

Таким чином вважаємо, що зміна форми очисної камери надає їй додаткову стійкість, за рахунок зміни в верхній частині камери розтягуючих напружень на стискаючі.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Встановлено, що в нестійких породах на глибині 1350 м та довжини покладу за простяганням 600 м вертикальні напруження менші ніж горизонтальні на 370 т/м². В цьому випадку ширина очисної камери збільшується в залежності від співвідношення вертикального та горизонтального оголення збільшується з 1,08 до 1,55 разів при забезпеченні їй стійкості. Зі збільшенням довжини покладу за простяганням з 600 до 1400 м при радіусі вертикального оголення 90 м, ширину камери необхідно зменшити з 1,55 до 1,23 рази.

Список літератури

1. **Ступнік М.І.** Комбіновані способи подальшої розробки залізрудних родовищ Криворізького басейну / **М.І. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2012. – № 95(1). – С. 3-7.
2. **Колосов В.А.** Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине / **В.А. Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин** // Горный журнал. М.: МГУ. – 2000. – №6. – С. 162-168.
3. **Khomenko O.** Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining / **O. Khomenko, M. Kononenko, I. Myronova** // Mining Of Mineral Deposits. – 2017. – Vol. 11, No 2. – P. 59-67.
4. **Ступнік Н.И.** Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / **Н.И. Ступнік, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.
5. **Ступнік Н.И.** Технология разработки рудных месторождений открыто-подземным способом / **Н.И. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 33. – С. 3-8.
6. **Khomenko O.** Automation of drill and blast design / **O. Khomenko, D. Rudakov, M. Kononenko** // Technical And Geoinformational Systems In Mining. – 2011. – P. 271-275.
7. **Rymarchuk B.I.** Expediency of application of the vertical concentrated charges to decrease losses of ore on a lying wall of deposits / **B.I. Rymarchuk, O.L. Shepel, M.V. Khudyk** // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – № 3. – P. 32-37.
8. **Ступнік Н.И.** Параметры этажно-камерной выемки железистых кварцитов с наклонными целиками / **Н.И. Ступнік, С.В. Письменний** // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – Кривий Ріг. – 2013. – № 96. – С. 3-7.
9. **Ступнік Н.И.** Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / **Н.И. Ступнік, Б.Н. Андреев, С.В. Письменний** // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 32. – С. 3-6.
10. **Щелканов В.А.** Анализ сложноструктурных залежей Кривбасса / **В.А. Щелканов, О.Я. Хивренко, В.О. Хивренко** // Разработка рудных месторождений: Научно-технический сборник. Кривой Рог: КТУ. – 2001. – Вып.75. – С. 30-35.
11. **Лавриненко В.Ф.** Уровень удароопасности пород на глубоких горизонтах шахт Кривбасса / **В.Ф. Лавриненко, В.И. Лысак** // Разраб.рудн. месторождений. Киев: Техника, КГРИ. – 1991. – Вып. 52. – С. 30–37.
12. **Herbert R., Nordström A.** Leachate generation and nitrogen release from small-scale rock dumps at the Kiruna iron ore mine. International mine water association conference. – 2017. – P. 140-146.
13. **Khomenko O.** Modeling of bearing massif condition during chamber mining of ore deposits / **O. Khomenko, M. Kononenko, M. Danylchenko** // Mining Of Mineral Deposits. – 2016. – Vol. 10, No 2. – P. 40-47.
14. **Stupnik N.I.** Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / **N.I. Stupnik, V.A. Kalinichenko, V.A. Kolosov, S.V. Pismenniy, M.B. Fedko** // Metallurgical and mining industry. – 2014. – No 2. – P. 89-93.
15. **Khomenko O.** Analytical modeling of the back-fill massif deformations around the chamber with mining depth increase / **O. Khomenko, M. Kononenko, M. Petlovanyi** // New Developments In Mining Engineering 2015. – 2015. – P. 265-269.
16. **Khomenko O.** Classification of Theories about Rock Pressure. / **O. Khomenko, M. Kononenko, J. Bilegsaikhan** // Solid State Phenomena. 2018. – 2018. – Issue 277. – P. 157-167.
17. **Vladyko O.** Imitating modeling stability of mine workings / **O. Vladyko, M. Kononenko, O. Khomenko** // New techniques and technologies in mining. Netherlands: CRC Press Balkema. – 2012. – P. 147-150.
18. **Carusone O., Hudyma M.** Variations in apparent stress and energy index as indicators of stress and yielding around excavations. in M Hudyma & Y Potvin (eds), Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. Australian Centre for Geomechanics. Perth. – 2017. – P. 205-218.
19. **Kalinichenko V.** Selective underground mining of complex structured ore bodies of Kryvyi Rih Iron Ore Basin / **V. Kalinichenko, S. Pysmennyi, N. Shvaher, O. Kalinichenko** // E3S Web of Conferences, 60, art. no. 00041. 2018.
20. **Pysmennyi S.** Development of complexstructure ore deposits by means of chamber systems under conditions of the Kryvyi Rih iron ore field / **S. Pysmennyi, D. Brovko, N. Shwager, I. Kasatkina, D. Paraniuk, O. Serdiuk** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018. – Vol. 5, No 1 (95). – P. 33–45.
21. **Малахов Г.М.** Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка. – 1990. – 204 с.
22. **Письменний С.В.** Методика визначення активної зони склепоутворення на контурі підземно-транспортної

виробки при комбінованій розробці залізрудних родовищ / **С.В. Письменний** // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. Х.: НТУ "ХПІ". 2017. № 16 (1238). С. 99–106.

22. **Куликов В.В.** Выпуск руды // Москва: Недра. – 1980. – 303 с.

23. **Галаев Н.З.** Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений // Москва: Недра. – 1990. – 176 с.

24. **Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В.** Основы механики горных пород // Ленинград: Недра. – 1977. – 503 с.

25. **Hudyma M.R.** Geomechanics of Sill Pillar Mining / **Hudyma M.R., Potvin Y, Grant D.R., Milne D., Brummer R.K., Board M.** // Rock Mechanics Models and Measurements Challenges from Industry. Proceedings of the 1st North American Rock Mechanics Symposium / the university of Texas at Austin. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield. 1994. P. 969–976.

Рукопис подано до редакції 22.03.2020

УДК 622.1:528.02

П.Й. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф.,

О.В. ДОЛГІХ, Л.В. ДОЛГІХ, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький національний університет

СИСТЕМИ ПРОГРАМ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ЗЙОМОК КАР'ЄРУ З БПЛА

Метою є дослідження актуального питання вибору ефективних програмних засобів для опрацювання знімків, отриманих камерою, встановленою на безпілотному літальному апараті.

Методи. Безпілотні літальні апарати широко впроваджуються на гірничодобувних підприємствах для вирішення різних задач за результатами цифрових повітряних зйомок. Доведено, що такий спосіб знімання дозволяє суттєво зменшити витрати на отримання необхідної маркшейдерської графічної документації, яка використовується різними службами підприємства для планування та контролю гірничих робіт, для визначення об'ємів гірських мас тощо. Останнім часом безпілотні літальні апарати використовують для дослідження небезпечних зон, виконуючи дистанційні спостереження за ними.

Наукова новизна. Для вирішення цих та інших задач важливо вірно вибрати камеру та програмне забезпечення до неї, так як саме від цього залежить точність вирішення тієї чи іншої задачі. Як цифрова камера, так і програмне забезпечення до неї, має певні характеристики, які впливають не тільки на якість отриманої цифрової моделі чи плану, а й на час вирішення задачі, зручність використання тощо. Саме з цією метою виконані дослідження різних програмних засобів до цифрових камер, що встановлюються на безпілотних літальних апаратах. Досліджено таке програмне забезпечення, як: RealityCapture BETA 1.0, 3DF Zephyr Aerial, Pix4d, Agisoft Metashape Professional, Autodesk ReCap. Досліджено роботу по опрацюванню знімків в різних програмних засобах з метою вибору найбільш ефективного.

Практична значимість. Встановлено, що кожна з програм має як переваги так і недоліки. Зроблений аналіз дозволив визначити час, необхідний на опрацювання знімків з опорними точками та без них. Досліджено можливості двопроцесорної графічної станції Lenovo P700 та різні налаштування програмних засобів з метою вибору оптимального режиму роботи програм.

Результати виконаних робіт необхідні для подальшого дослідження процесу аерознімання об'єктів гірничодобувних підприємств за допомогою безпілотних літальних апаратів з метою підвищення точності та оперативності цих робіт.

Ключові слова: цифрова камера, знімки, програмні засоби, процесор.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-93-99

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Останнім часом для виконання знімальних робіт на об'єктах гірничодобувних підприємств використовуються безпілотні літальні апарати (БПЛА), на яких встановлюються цифрові камери [1-5]. Знімальний процес здійснюється з суттєвими відмінностями від класичних фотограмметричних методів. В результаті такої зйомки отримані знімки опрацюються за допомогою спеціальних систем програм, які різняться між собою за своїми характеристиками, так як зйомки мають різне призначення і відповідно вимагають різної точності вирішення задачі [6]. Важливо вибрати найбільш доцільну у кожному окремому випадку.