

3. **Фролов А.В.** Исследование высоконапорного гидрообеспыливания пылеулавливающими водовоздушными эжекторами с плоскоструйными форсунками / **А.В. Фролов, В.А. Телегин** // Горный информационно-аналитический бюллетень. Аэрология. – Вып. 5, 2008. – С. 164-168
4. **Кокорин О.Я.** Современные системы кондиционирования воздуха / **О.Я. Кокорин**. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2003. – 272 с.
5. **Jundika, C., Agus, P. Arun, S.** (2015) «Introduction and evaluation of a novel hybrid brattice for improved dust control in underground mining faces : a computational study», *International Journal of Mining Science and Technology*. – V. 25, Issue 4, pp. 537–543
6. **Журавлев В.П.** Моделирование и проектирование систем гидрообеспыливания / [**В.П. Журавлев, В.И. Саранчук, Н.А. Страхова и др.**]. – К.: Наукова думка, 1990. - С. 40-82
7. **Бересневич П.В.** Обоснование параметров и технологических схем использования эжекторной установки в процессе пылегазоподавления и проветривания выработок / **П.В. Бересневич, А.А. Лапшин** // Разработка рудных месторождений – Вып. 89, 2005. – С. 199-203
8. **Bakhtavar E., Shahriar K., Mirhassani A.** (2012) «Optimization of the transition from open-pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming». *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. – V. 112, pp. 1059-1064
9. **Zegong, L., Kicki, J., Xinzhu, H., Shujie, Y.** (2010) «Mine Safety and Efficient Exploitation Facing Challenges of the 21st Century», *International Mining Forum*, 300 p.
10. **Бересневич П.В.** Нормализация состава атмосферы современных железорудных карьеров Кривбасса / **П.В. Бересневич** // В сб. разработка рудных месторождений. - Вып. 8, 2002. – С. 16-17
11. **Куроченко В.М.** Способ определения оптимальных расходов взрывчатых веществ при проведении горных выработок / **В.М. Куроченко, В.В. Торяник** // В сб. Охрана труда и окружающей среды на предприятиях горно-металлургического комплекса, 1999. - С. 31-55
12. **Лапшин О.Є.** Вентиляція гірничих виробок при відкрито-підземній розробці залізних руд / **О.Є. Лапшин, О.О. Лапшин, Д.О. Лапшина** // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. Кривой Рог. – 2014. – С. 206–213
13. **Volkwein, J.C., Vinson, R.P., Page, S.J., McWilliams, L.J., Joy, G.J., Mischler, S.E., Tuchman, D.P.** (2006) «Laboratory and field performance of a continuously measuring personal respirable dust monitor» *Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH)*. - № 2006–145, RI 9669
14. **Chekan, G.J., Listak, J.M., Colinet, J.F.** (2001). «Laboratory testing to quantify dust entrainment during shield advance». *Proceedings of the Seventh International Mine Ventilation Congress (Krakow, Poland, June 17–22, 2001)*, pp. 291–298
15. **Goodman, G.R., Pollock, D.E., Beck, T.W.** (2004). A comparison of a directional spray system and a flooded-bed scrubber for controlling respirable dust exposures and face gas concentrations. *Proceedings of the 10th U.S./North American Mine Ventilation Symposium (Anchorage, AK, May 16–19, 2004)*, pp. 241–248
16. **Корж В.А.** Вплив електроактивації аерозолі на інтенсивність пилогазоподавлення при провітрюванні / **В.А. Корж В.А., О.О. Лапшин** // Проблеми охорони праці в Україні. – Вып. 8, 2004 – С. 32-39

Рукопис подано до редакції 07.04.2017

УДК 622:274

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

## ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВОЇ ТОЧКИ РУЙНІВНОГО ТИСКУ НА КОНТУРІ ГІРНИЧОЇ ВИРОБКИ З УРАХУВАННЯМ ТЕХНОГЕННИХ СИЛ

**Мета** визначення місця дії руйнівної сили на контурі підземної гірничої виробки розташованої як в зоні впливу гірничих робіт так і за її межами в різномодульному масиві з урахуванням дії техногенних сил. Розробити методику визначення граничного тиску на контурі виробки в залежності від радіус кривизни склепіння утворюючої виробку.

**Методи дослідження.** При вирішенні питання стійкості гірничих виробок в різномодульному гірничому масиві та визначення кутової точки руйнівного тиску на контурі виробки склепінної форми застосовувався аналітичний метод досліджень з урахуванням практики роботи шахт Кривбасу з встановленням певних обмежень при її використанні.

**Наукова новизна.** Розроблена методика визначення тиску на контурі виробки, яка відрізняється від відомих розрахунком кута діючого руйнівного тиску на контурі виробки в різномодульному масиві гірських порід від глибини розробки, радіусу кривизни склепіння утворюючої виробку та з урахуванням напружень що виникають при очисному виїманні. Отримані залежності руйнівного тиску від кута прикладеного навантаження до контуру виробки.

**Практична значимість.** Можливість коригування параметрів гірничих виробок на стадії проектування виробки блоку безпосередньо при проходці гірничої виробки в однорідних та неоднорідних породах з урахуванням техногенних сил та куту зсуву порід в яких пройдено виробку. Вибір найбільш доцільного радіусу кривизни склепіння утворюючої виробку, який дозволить підвищити стійкість породам навколо виробки.

**Результати.** Запропонована методика визначення кутової точки руйнівного тиску на контурі гірничої виробки з урахуванням техногенних сил, яка дає можливість визначити тиск та слабе місце на контурі гірничої виробки в умовах однорідного та неоднорідного гірського масиву. Дана методика дозволяє розрахувати тиск який діє на контур виробки з урахуванням раніше відробленого очисного блоку, що знаходиться в безпосередній близькості.

**Ключові слова:** напруження, кутова руйнівна точка, виробка, радіус кривизни склепіння, тиск, очисний блок.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Криворізький залізорудний басейн розробляє складно-структурні родовища природно-багатих руд підземним способом [1-5]. На більшості шахт при видобутку залізних руд застосовуються системи з масовим обваленням руди та налягаючих порід [6-7]. Дані системи розробки негативно впливають не тільки на денну поверхню, а й на поле напружень навколо гірничих виробок розташованих в зоні впливу очисних гірничих робіт [8].

Відпрацювання залізрудних родовищ Криворізького басейну спростувала думку фахівців про те, що при зниженні гірничих робіт понад 1200 м діючі напруження в незайманому масиві перевищать граничну межу міцності руди і порід, тим самим викличуть в процесі ведення гірничих робіт стріляння масиву та гірські удари. Гірничо-капітальні та підготовчі виробки на шахтах Кривбасу на глибинах 1060-1315 м успішно існують, але на контурах виробок з'являються: випадіння порід та часткове руйнування склепінної частини виробки. Існує гіпотеза, що динамічні прояви гірського тиску (стріляні порід, мікроудари, гірські удари) на шахтах Кривбасу матимуть місце на глибинах понад 1600 м [9].

Подальший розвиток підземного Кривбасу залежить від достовірності наукового прогнозу гірничо-технічних умов, надійної оцінки масиву, а також можливості прояву гірського тиску на значних глибинах (до 1800-2000 м). Рішення даної проблеми, дозволить успішно функціонувати підземним гірничо-рудним підприємствам при видобутку багатих, бідних і втрачених руд, магнетитових і окислених кварцитів.

Спостереженнями службою прогнозу гірських ударів ПАТ "Кривбасзалізрудком" було встановлено, що на глибинах понад 1000 м виробки прагнуть прийняти форму поперечного перерізу близьку до еліптичної. Дані спостережень свідчать про значне розходження фактичних та розрахованих за допомогою методів А.Н. Динника, А. Гейм напружень в незайманому масиві.

Для оцінки ударонебезпечності порід в полях шахт Кривбасу на глибинах до 1800-2000 м визначено значення коефіцієнта динамічності процесу деформування гірського масиву при перетворенні потенційної енергії в роботу, що представляє собою відношення об'ємної щільності енергії масиву до енергії руйнування одиниці об'єму породи.

Але на гірничих підприємствах досі стоїть проблемою зменшення експлуатаційних витрат на підтримання гірничих виробок та забезпечення стійкості гірського масиву навколо виробки на весь термін розробки запасів родовища.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідженнями змін полів напружень на контурах виробок, встановленням місць концентрації максимальних напружень по відношенню до поверхні оголення займалося велика кількість вчених, серед них: Протод'яконов М.М., Турчанінов І.А., Буличов Н.С., Галаєв З.М., Кузнецов Г.Н., Зорін А.М., Тарасютін В.М., Бондаренко В.І., Ковалевська І.А. та ін. Результати багаторічних досліджень напруженого стану масиву гірських порід, дають підставу стверджувати, що на структуру поля початкових напружень впливають наступні фактори: гравітаційні сили, тектонічні сили і залишкові напруження. На кожному частку, що знаходиться на глибині, тисне вага вищерозміщених порід, яка передає тиск на всі боки, і внаслідок неможливості зрушення виникають горизонтальні напруження [10]. В ідеальному випадку гравітаційні сили формують в непорушеному масиві вертикальні та горизонтальні напруження, які визначаються за виразами

$$\sigma_z = \gamma \cdot H, \quad \sigma_x = \sigma_y = \mu / (1 - \mu) \cdot \sigma_z,$$

де  $\sigma_z$  - вертикальні напруження, т/м<sup>2</sup>;  $\sigma_x, \sigma_y$  - горизонтальні складові вертикального напруження, т/м<sup>2</sup>;  $\gamma$  - об'ємна маса порід, т/м<sup>3</sup>;  $H$  - глибина ведення гірничих робіт, м;  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

З огляду на що реальний масив гірських порід не є ідеальним середовищем, то земну кору можна розбити по її порушенням на геоблоки які представлені більш ніж 20 рангами. Розміри геоблоків відповідно до класифікації [11] становлять в середньому: 1 м, 10 м, 100 м, 1 км, 10 км, 100 км, 1000 км і більше. Порушення кожного рангу вносять свій внесок на деформації вихідного поля гравітаційно-тектонічного напруження.

Згідно з дослідженнями [10-12] встановлено, що тектонічні напруження в вертикальному напрямку повинні дорівнювати нулю, а в горизонтальному мати максимальне і мінімальне значення з азимутом їх дії:  $\sigma_{1m}, \sigma_{2m}, \sigma_{1z},$  и  $\sigma_{2z}$ . Таким чином, сума гравітаційно-тектонічних напружень в ідеальному випадку дорівнює

$$\sigma_{1z} = \sigma_{1m} + \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \gamma \cdot H; \quad \sigma_{2z} = \sigma_{2m} + \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \gamma \cdot H.$$

Гірський масив Криворізького залізорудного басейну складний комплексом гірських порід, в якому кожна порода займає певний обсяг, має свої лінійні розміри, міцність та пружні характеристики. З точки зору геомеханіки масив кожної породи можна розглядати по відношенню до сусідніх, як пружне або пластичне включення. Якщо до такого комплексу порід докласти зовнішнє навантаження, то в ньому сформується складне поле напружень відносно до геометричних і фізико-механічних параметрів дільниці гірського масиву, що досліджується. Отже, чим більше об'єм масиву, в якому визначається поле напружень, тим більша кількість геологічних і тектонічних чинників впливають на отриманий результат, змінюючи вихідні гравітаційно-тектонічні напруження, властиві даному району або регіону. При визначенні напружень в гірському масиві, об'єм досліджень необхідно обмежити структурним блоком, тоді отримані поля вихідних гравітаційно-тектонічних напружень будуть властиві даному структурному блоку.

В умовах складно-структурних покладів Криворізького залізорудного басейну після проходки гірничих виробок у нестійких породах з часом відбувається їх руйнування [13]. У більшості виробок руйнується покрівля з утворенням склепіння різної конфігурації та розмірів. Обвалення порід викликано значним прогоном оголення або в результаті дії руйнівних стискаючих або розтягуючих напружень. При зменшенні радіусу кривизни склепіння стискаючі напруження зростають, а розтяжні зменшуються, і навпаки, коли радіус кривизни склепіння збільшується на ділянках контуру виробки стискаючі напруження зменшуються, а розтягуючі – збільшуються.

Таким чином, на контурі виробки з великим радіусом кривизни виникають кутові точки які є осередками високої концентрації напружень. У випадку коли діючі напруження перевищують межу міцності порід відбувається часткове руйнування контуру виробки тим самим виробка приймає нову форму зі зміненими напруженнями на її контурі. Руйнування виробки відбувається до тих пір поки виробка не придбає стійкі обриси. Процес руйнування контуру виробки відбувається протягом всього терміну існування гірничої виробки.

**Постановка завдання.** Для забезпечення стійкості гірничим виробкам необхідно визначити кутові руйнівні точки на контурі виробки та розробити заходи щодо збільшення стійкості.

**Викладення матеріалу та результати.** Руйнівні напруження, що виникають на контурі гірничої виробки, які призводять до її руйнування залежать від [14]: стійкості, ступеня тріщинуватості, межі міцності гірських порід на розтягування і стиснення, глибина ведення гірничих робіт, об'ємна маса, коефіцієнт Пуассона та гравітаційно-тектонічні напруження. Гірські породи Криворізького залізорудного басейну неоднорідні та поділяються на наступні класи: I – дуже стійкі, II – стійкі, III – середньої стійкості, IV – низькою стійкості, V – дуже низькою стійкості та VI – нестійкі. Класифікація гірських порід Криворізького залізорудного басейну представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація стійкості гірських порід і руд Криворізького залізорудного басейну

Найменування порід і руд	Коефіцієнт міцності $f$	Ступінь тріщинуватості		
		слаба	середня	сильна
Джеспіліти, гематит-магнетитові кварцити, силікат-магнетитові і карбонат-силікат-магнетитові кварцити	> 14	I	II	III
Окислені гематит-магнетитові кварцити, магнетит-силікатні кварцити	12-14	II	III	IV
Кварц-хлоритові сланці, аспідні сланці, краскові роговики	7-12	III	IV	V
Краскові сланці, краско-мартитові, краскові руди, хлорит-серіцитові сланці	4-6	IV	V	VI
Краскові та глиноземисті руди	< 4	VI	VI	VI

Залежно від класу стійкості гірських порід у гірничих виробках застосовують наступні типи кріплень: I клас – без кріплення, набризг-бетон, анкерне; II клас – набризг-бетон, анкерне з сіткою; III клас – анкерне з набризг-бетоном, металеве; IV клас – металеве, анкера з армованим набризг-бетоном; V клас – металеве абочне податливе, анкерне з подовженими анкерами та армованим набризг-бетоном; VI клас – металеве абочне податливе з установкою спарених рам, кругле тубінгове. Застосування даних типів кріплень частіше дозволяє зберегти стійкість підземним гірничих виробках, але в умовах значного проявлення гірського тиску, відбувається руйнування

кріплення внаслідок чого, гірничавиробка деформується, змінюючи при цьому форми.

Навколо виробленого простору діють розтягуючі та стискаючі напруження. Якщо стискаючі напруження на контурі виробки перевищують межу міцності порід навколо виробки, то вони частково її руйнують. При цьому відбувається збільшення прольоту за рахунок збільшення радіусу утворюючої контур склепінної частини, це призводить в свою чергу до появи в покривлі розтягуючих напружень з подальшим утворенням склепіння що обвалюється.

Основна умова стійкої граничної рівноваги на будь-якому майданчику навколо виробленого простору описується законом Кулона та має вигляд

$$\tau_{xz} \geq \tau_0 + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \rho, \quad (3)$$

де  $\tau_{xy}$  – зсувні сили, т/м<sup>2</sup>;  $\tau_0$  – початковий опір зрушенню, т/м<sup>2</sup>;  $\sigma_n$  – нормальне напруження на заданому майданчику, т/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя, град.

Нормальні та дотичні напруження, що входять в рівняння (3) визначаються системою рівнянь

$$\begin{cases} \sigma_n = \sigma \cdot \cos \delta, \\ \tau_{xz} = \sigma \cdot \sin \delta, \end{cases} \quad (4)$$

де  $\sigma$  – діюче значення ущільнюючого напруження, т/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – кут, під яким діє руйнівний тиск на контур виробки, град.

В умовах коли відсуне ущільнююче напруження початковий опір зрушенню приймається рівний коефіцієнта зчеплення порід. Згідно з дослідженнями [15] початковий опір зрушенню визначається в залежності від породного масиву і коефіцієнта зчеплення: - для однорідного масиву  $\tau_0 = c$ ; - для мікрошарового масиву  $\tau_0 = (0,6 \dots 0,7) \cdot c$ ; - для поверхні окремих шарів і контактів  $\tau_0 = (0,2 \dots 0,5) \cdot c$ .

Руйнівний тиск (вага порід) що діє на контур виробки визначається за виразом

$$P_{к.в} = \pm \frac{P \cdot \sin \delta}{l}, \quad (5)$$

де  $P_{к.в}$  – руйнуючий тиск (вага) що діє на контур виробки, т/м<sup>2</sup>;  $P$  – тиск (вага) налягаючих порід, т/м<sup>2</sup>;  $l$  – довжина дуги контуру склепіння виробки, м.

У шаруватих породах на контурі виробки спостерігається локальне вивалоутворення, прояви якого відбуваються шляхом зниження міцності та коефіцієнта зчеплення між шарами гірських порід. Значення міцності на контактах між шарами значно менше, тому руйнування в масиві відбувається на контакті між породами. Максимальний напружено-деформований стан навколо виробки в гравітаційно-тектонічному полі початкових напружень описується наступними виразами для пружного середовища [16]

$$\sigma_r = \left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} - \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot a^2}{r^2}\right) \cdot \cos 2\theta\right), \quad (6)$$

$$\sigma_\theta = \left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \cdot \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} + \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot a^2}{r^2}\right) \cdot \cos 2\theta, \quad (7)$$

де  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$  – нормальні та дотичні напруження, т/м<sup>2</sup>;  $a$  – радіус кривизни склепіння утворюючої виробку, м;  $r$  – відстань від центру вироблення до елементарного об'єму, м;  $\theta$  – розрахунковий кут, при якому діють нормальні та дотичні напруження на контурі виробки, град.

Виконавши відповідні перетворення формул (6 та 7) отримаємо вираз для визначення максимального-напружено-деформованого стану на контурі виробки

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\theta \\ \sigma_r \end{aligned} \right\} = \sigma_z \cdot \left(1 \pm \frac{1}{r^2}\right), \quad (8)$$

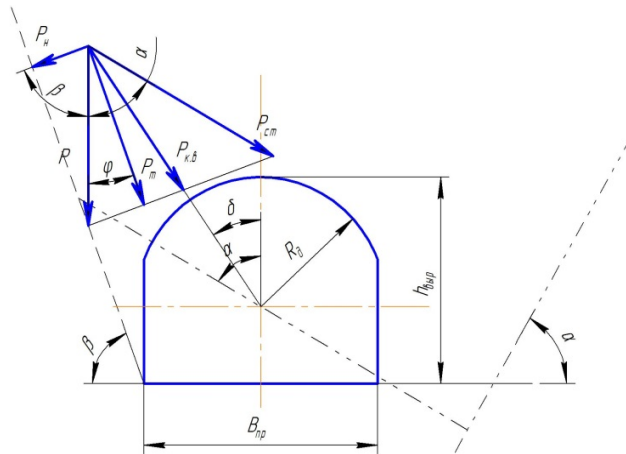
$$\tau_{r\theta} = 0.$$

З метою зручності розрахунків переходимо від полярної системи координат до прямокутної, тоді вираз (8) набуде вигляду

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x \\ \sigma_y \end{aligned} \right\} = \frac{\sigma_\theta + \sigma_r}{2} \pm \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{2} \cdot \cos 2\delta, \tag{9}$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{2} \cdot \sin 2\delta.$$

Підставивши в рівняння (3) вирази (8 та 9) та прирівнявши ліві частини рівняння отримаємо формулу граничної рівноваги на контурі виробки для однорідного масиву, рис. 1



**Рис. 1.** Розрахункова схема до визначення руйнівного тиску на контурі виробки за зоною впливу очисних робіт

$$\frac{P \cdot \sin 2\delta}{r^2} = \tau_0 + P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho, \tag{10}$$

де  $\beta$  – кут зрушення гірських порід, град.

Помноживши праву і ліву частини виразу (10) на квадрат радіуса кривизни контуру виробки, отримаємо

$$P \cdot \sin 2\delta - r^2 \cdot P \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho = r^2 \cdot \tau_0. \tag{11}$$

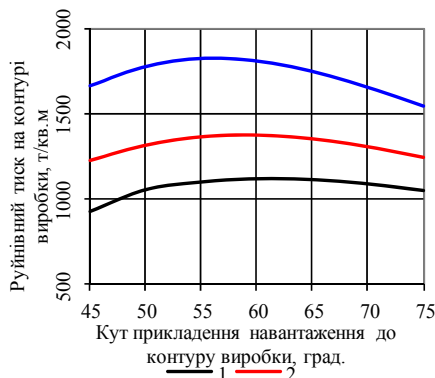
Після відповідних перетворень виразу (11) отримаємо формулу з визначення максимального тиску на контурі гірничої виробки, при якому забезпечується гранична рівновага масиву

$$P = \frac{r^2 \cdot \tau_0}{\sin 2\delta - r^2 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}. \tag{12}$$

Підставивши у вираз (5) формулу (12), отримаємо остаточне рівняння руйнівного тиску створюваного на контурі виробки аркової форми в залежності від кута прикладеного навантаження до контуру виробки для однорідних порід

$$P_{к.в} = \pm \frac{r \cdot \tau_0 \cdot \sin \delta}{\sin 2\delta - r^2 \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho}. \tag{13}$$

Якщо руйнівний тиск, визначений за формулою (13), більше нормальних напружень в масиві навколо виробки, то контур гірничої виробки буде зберігати свою стійкість, в іншому випадку контур виробки буде схильний до деформації під кутом  $\delta$  [17-19].



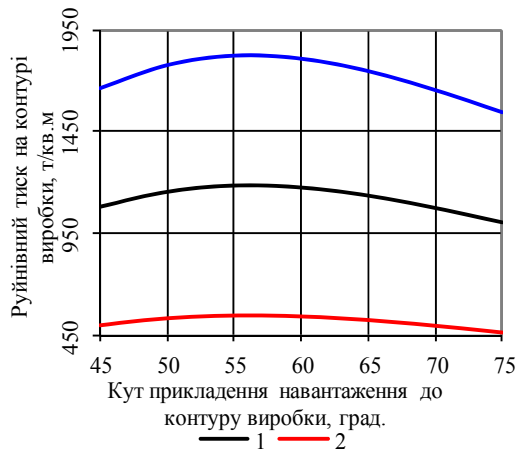
**Рис. 2.** Величина руйнівного тиску на контурі виробки за зоною впливу очисних робіт в залежності від кута прикладання навантаження до контуру виробки зсуву порід в однорідному масиві: 1-3 – відповідно кут зрушення порід 55,60 і 65 град.

Виконали розрахунки відповідно до виразу (13), побудовані залежності розподілу руйнівного тиску на контурі виробки залежно від кута її прикладення, рис. 2.

З графіків, наведених на рис. 2, видно, що гранична рівновага на контурі виробки змінюється від 55 до 65 град. залежно від кута зсуву порід.

Так при куті зсуву порід 55 град. утримуюча сила на контурі виробки діє під кутом 65 град., а зі збільшенням кута зсуву до 65 град. кут максимально утримуючої сили зменшується до 55 град.

Залежності зміни дії навантаження на контурі виробки в однорідному та неоднорідному масивах наведено на рис. 3



**Рис. 3.** Величина руйнівного тиску на контурі виробки за зоною впливу очисних робіт в неоднорідному та однорідному гірських масивах, при куті зсуву порід 65 град.: 1, 2 – неоднорідний гірський масив відповідно для мікрошарового та окремих шарів порід і контактів; 3 – однорідний гірський масив.

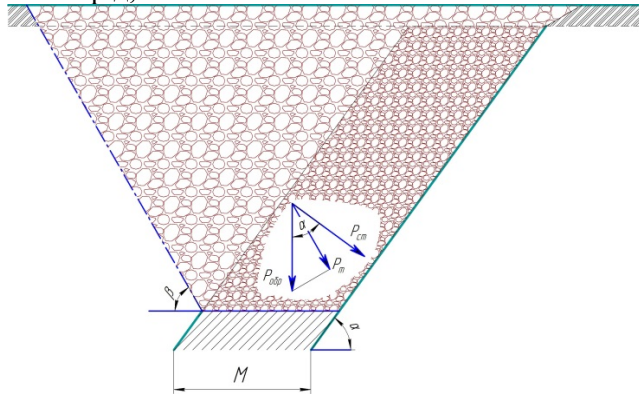
З графіка, наведеного на рис. 3, видно, що в неоднорідному масиві руйнівне навантаження на контурі виробки діє під кутом 55 град. зменшується з 1190 до 550 т/м<sup>2</sup>. Таким чином, виробка в однорідному масиві руйнується при 1830 т/м<sup>2</sup>, а в неоднорідному масиві руйнівний тиск на контурі виробки зменшується в 1,5-3,0 рази.

Відомо, що на гірничу виробку яка розташована в гірському масиві на деякій глибині діюче навантаження на контур виробки складається з власної ваги порід оточуючих її та призми обвалення від раніше відробленого очисного блоку, що знаходиться в безпосередній близькості.

Вага, що діє навантаження на контурі виробки від раніше відпрацьованої ділянки родовища, рис. 4, на гірський масив визначається виразом

$$P_m = P_{обр} \cdot \cos \beta, \quad (14)$$

де  $P_m$  – вага порід, що діє на гірський масив від зони обвалення порід, т/м<sup>3</sup>;  $P_{обр}$  – вага обвалених порід, т/м<sup>3</sup>.



**Рис. 4.** Розрахункова схема щодо визначення тиску в зоні впливу від очисних робіт

Згідно рис. 4 тиск порід в гірському масиві з урахуванням ваги обваленими породами на одиницю площі визначається

$$P_{\Sigma} = P + P_r \cdot \sin \beta = P + \frac{P_{обр} \cdot \sin 2\beta}{2}, \quad (15)$$

де  $P_{\Sigma}$  – сумарний тиск гірського масиву, що створюється власною вагою порід та зони обвалення, т/м<sup>2</sup>.

При проходці гірничої виробки на  $i$ -м

відстані від зони очисних робіт вираз (15) набуде вигляду:

$$\text{за умови } 0 < L_{вир} \leq 10 \cdot B_{вир}$$

$$P_{\Sigma} = P + \sqrt{P_{обр}^2 - L_{вир}^2}, \quad (16)$$

де  $L_{вир}$  – відстань від контуру виробки до зони обвалення, м;  $B_{вир}$  – ширина гірничої виробки, м.

$$\text{за умови } L_{вир} > 10 \cdot B_{вир}$$

$$P_{\Sigma} = P, \quad (17)$$

тобто тиском, який створюється від обвалених порід при очисній виїмці, можна знехтувати.

Таким чином, стійкість гірничих виробок забезпечується при дотриманні нерівності

$$P_{\Sigma} < P_{к.в}. \quad (18)$$

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Знаючи зону дії максимально утримують сил на контурі виробки, можна забезпечити її стійкість за рахунок застосування додаткових заходів, до яких можна віднести: створення додаткової зони розпушення навколо гірничої виробки, закріплення ділянки виробки анкерами, буріння глибоких свердловин з подальшим їх тампонажем спеціальними сумішами. В подальшому необхідно визначити зону склепоутворення на контурі гірничої виробки при розробці складно-структурних родовищ.

## Список літератури

1. Ступнік М.І. Визначення параметрів воронки обвалення в зоні підземних гірничих робіт при розробці залізрудних родовищ / М.І.Ступнік, С.В.Письменний // Вісник КТУ. – 2010. – № 26. – С. 26-29.
2. 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.
3. Письменний С.В. Отработка сложноструктурных залежей богатых руд камерными системами разработки / С.В.Письменний // Гірничий вісник: Науково-технічний збірник. – 2014. – № 97. – С. 3-7.
4. Stupnik N.I. Testing complex-structural magnetite quartzite deposits chamber system design theme / N.I. Stupnik, V.A. Kalinichenko, V.A. Kolosov, M.B. Fedko, S.V. Pismennyi // Metallurgical and mining industry, No.2. – 2014. – S 89-93.
5. Логачев Е.И. Отработка сложно-структурных залежей подземным способом / Е.И. Логачев, Н.И. Ступник, С.В. Письменний // Качество минерального сырья. Сб. науч. трудов. – Кривой Рог. – 2008. – С. 115-120.
6. Ступник Н.И. Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды / Н.И.Ступник, С.В.Письменний // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 30. – С. 3-7.
7. Ступник Н.И. Отработка природно-бедных руд Криворожского железорудного бассейна с закладкой выработочного пространства/ Н.И. Ступник, В.А. Колосов, С.В. Письменний, М.Б. Федько // Metallurgical and mining industry, No.3. – 2014. – № 3. – С. 95-98.
8. Ступник Н.И. Исследование формы поперечного сечения подземных выработок при комбинированной отработке месторождений / Н.И.Ступник, Б.Н.Андреев, С.В.Письменний // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – № 32. – С. 3-6.
9. 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.
10. Влох Н.П. Прогноз удароопасности выработок на стадии проектирования горных работ / Н.П. Влох, А.В. Зубков, Я.И. Линин // Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях Апатиты, КФАН СССР, 1987. – С.24-37.
11. Влох Н.П. Совершенствование конструкции днищ в условиях действия высоких горизонтальных сжимающих напряжений / Н.П. Влох, А.В. Зубков, Ю.Ф. Пятков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1981. - № 4. – С. 14-16.
12. Тимченко А.В. Формирование нагрузки от локальных вывалов при сплошном сводообразовании / А.В. Тимченко, В.Н. Пустобриков, Т.С. Цидаев // Вестник Владикавказского научного центра. – Владикавказ, 2007. – Т. 7. - №2. – С. 44-48.
13. Письменний С.В. Моделювання стійкої форми очисної камери при розробці магнетитових кварцитів Криворізького залізрудного басейну / С.В. Письменний, О.Б. Томашевський // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг. – 2015. – № 40. – С. 98-103.
14. Агошков М.И. Разработка рудных и нерудных месторождений / М.И.Агошков, С.С.Борисов, В.А. Боярский. – М.: Недра, 1983. – 325 с.
15. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
16. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений / Н.З. Галаев. – Л.: 1979. – 100 с.
17. Stupnik N. Modeling of stopes in soft ores during ore mining / N. Stupnik, V. Kalinichenko, V. Kolosov, S. Pismennyi, A/ Shepel // Metallurgical and mining industry, No.3. – 2014. – S 32-36.
18. Ступник Н.И. Разработка рекомендаций по выбору типа крепления горных выработок и сопряжений в условиях урановых шахт ГП "ВОСТГОК"/ Н.И. Ступник, М.Б. Федько, В.А. Колосов, С.В. Письменний // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 5. – С.21-25.

Рукопис подано до редакції 12.04.2017

УДК [622.013:622.35]:622.015

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

## НОРМУВАННЯ БАЛАНСОВО-ПРОМИСЛОВИХ ЗАПАСІВ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ПО СТУПЕНЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTI ДО ВИДОБУВАННЯ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

**Мета.** Метою даної роботи є розробка метода і методики обліку стану і рухомості балансово-промислових запасів по ступеню підготовленості до видобування, визначення і облік розкритих, підготовлених і готових до видобування балансово-промислових запасів залізистих кварцитів на гірничовидобувних підприємствах та встановлення взаємозв'язку між ними.

**Методи дослідження.** Аналіз та узагальнення науково-технічних досягнень нормування промислових запасів з урахуванням того, що при класифікації підготовленості балансово-промислових запасів до кінця не витриманий