

5. Проведён анализ буровзрывного способа добычи монолитных блоков с установлением зависимостей объемов пыли и газа от геометрических размеров блоков.

Полученные результаты могут быть использованы в проектах по добыче природного камня в карьерах стройматериалов.

Список использованных источников

1. Обладнання для видобування блочного природного каменю: навч. посібник [Текст] / В.В. Коробейчук, В.В. Котенко, С.В. Кальчук та ін. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 348 с.
2. Воробьев, В.Д. Взрывные работы в скальных породах [Текст] / В.Д. Воробьев, В.В. Перегудов. – К.: Наук. думка, 1984. – 240 с.
3. Барон, Л.И. Сопротивляемость горных пород отрыву [Текст] / Л.И. Барон, Л.Г. Керкелица. – К.: Наук. думка, 1974. – 192 с.
4. Моделирование разрушающего действия взрыва в горных породах [Текст] / В.М. Комир, Л.М. Гейман, В.С. Кравцов, Н.И. Мячина. – М.: Наука, 1973. – 216 с.
5. Ферберн, Х.В. Структурная петрология деформированных горных пород [Текст] / Х.В. Ферберн. – М.: Изд-во иностр. лит., 1949. – 267 с.
6. Зависимость разрушения гранитов от анизотропии их свойств [Текст] / Ф.И. Кучерявий, В.Д. Воробьев, Б.Н. Мяделец, И.Л. Кратковский. – Изв. вузов. Горн. журн. – 1977. – № 12. – С.50-54.
7. Техника и технология добычи гранитных блоков [Текст] / Б.Р. Ракишев, Ю.Н. Бабин, Б.Ф. Шерстюк, В.С. Бобович. – М.: Недра, 1989. – 230 с.
8. Добыча и обработка природного камня: Справочник [Текст] / А.Г. Смирнов, Н.Т. Бакка, И.С. Биржишкис и др. – М.: Недра, 1990. – 445 с.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2016р.

УДК 622.271

О.О. Фролов, д.т.н, проф., **І.К. Бабичев**, аспірант (НТУУ «КПІ»)

ВСТАНОВЛЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ БОРТІВ РОЗРІЗУ ПІСЛЯ ВІДРОБКИ ПРИБОРТОВИХ ЗАПАСІВ ВУГІЛЛЯ

A.A. Frolov, I.K. Babichev (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

DETERMINATION OF THE CUT SIDES OF DEFORMATION AFTER WORKING AT THE QUARRY OF COAL RESERVES

Запропоновано для відробки запасів корисних копалин в бортах кар'єру використовувати безлюдну технологію виймання пластів системами Highwall. Виконано моделювання відробки прибортових запасів кам'яного вугілля системою Highwall зі шнековим виконавчим органом та ріжучим органом безперервної дії і визначені величини осідань поверхні бортів. За результатами моделювання отримані залежності зміни величини осідань від відстані між виробками в бортах розрізу.

Ключові слова: *прикар'єрні запаси; борт розрізу; система Highwall; моделювання; деформація; осідання поверхні.*

Предложено для отработки запасов полезных ископаемых в бортах карьера использовать безлюдную технологию извлечения пластов системами Highwall. Выполнено моделирование отработки прибортовых запасов каменного угля системой Highwall со шнековым исполнительным органом и режущим органом непрерывного действия и определены значения просадок поверхности бортов. По результатам моделирования получены зависимости изменения величины просадок от расстояния между выработками в бортах разреза.

Ключевые слова: *прикарьерные запасы; борт разреза; система Highwall; моделирование; деформация; просадка поверхности.*

It is proposed for testing of mineral reserves in the pit walls use layers deserted extraction technology Highwall systems. The modeling of mining of coal reserves in the sides of the cut Highwall system with auger executive body and the body of a continuous and the values of the surface subsidence boards. According to the simulation results obtained depending on changes in the magnitude of drawdowns on the distance between the workings in the cut sides.

Keywords: *with career inventories; cutting board; the Highwall system; modeling; deformation; surface subsidence.*

Вступ. Однією з основних задач при розробці родовищ корисних копалин в даний час є найбільш повне освоєння надр. У зв'язку з цим традиційні технологічні схеми відробки зазнають значних доповнень та змін. Найбільш перспективним напрямком є використання комбінованих систем розробки. Їх застосування особливо актуально для підприємств на базі доробки кар'єрів і розрізів, щоб підвищити їх рентабельність і повноту виймання родовища [1]. Перехід від відкритих гірничих робіт до підземних не потребує значних фінансових вкладень при розробці прикар'єрних запасів, тобто запасів, розташованих в безпосередній близькості до меж кар'єрів. Однак, досвід розробки таких родовищ показує, що тільки 18 % гірничих підприємств проводять видобуток прибортових запасів. Інші переводять ці запаси в забалансові [2]. Тому розробка прибортових запасів, яка дозволить збільшити ступінь виймання корисних копалин та підвищити ефективність освоєння родовища, є актуальною задачею.

Метою досліджень є дослідження деформації та стійкості бортів розрізу після відробки прибортових запасів вугілля.

Результати досліджень. Для довидобутку залишених корисних копалин в неробочих бортах кар'єрів, основним методом було залишення ціликів і проведення гірничих робіт вибуховим способом [3]. В цьому методі є багато недоліків, зокрема: низька ефективність робіт, незначний коефіцієнт вилучення, низька безпека, вплив на борти та ін. Зважаючи на це, для відробки запасів в

бортах найбільш доцільним є застосування безлюдної технології виймання пластів, в основі якої закладено принципи руйнування корисних копалин агрегатами зі шнековим або ріжучим виконавчим органом (Highwall) [3, 4].

Система Highwall з ріжучим виконавчим органом може виймати отвори прямокутної форми довжиною до 350 м. Міцність гірських порід, які здатен розробляти комплекс становить за шкалою Протод'яконова $f=3,8...7$. В залежності від розміру ріжучого модулю комплекс дозволяє відробляти вугільні пласти потужністю від 1,1 м до 4,8 м з максимальним кутом падіння до 25° [5].

Система Highwall зі шнековим виконавчим органом може утворювати отвори довжиною понад 100 м в діаметрі 0,5 м або більше у пластах. Ця система більш маневрена. Однак, міцність розроблюваних порід, які здатен розробляти комплекс не перевищує $f=3$ [4, 5].

Для дослідження поведінки борта кар'єру під час та після відробки прибортових запасів корисних копалин системами Highwall застосовуємо чисельне моделювання методом кінцевих елементів з використанням критерію міцності Мора-Кулона. Для цього гірський масив борта кар'єру розбиваємо на елементарні об'єми, в кожному з яких визначаємо стійкість на руйнування. В якості програмного продукту використовуємо PLAXIS 3D Tunnel [6].

Обираємо тривимірну модель з наступними розмірами: висота – 16,5 м; ширина – 25 м, глибина – 10 м (рис. 1). Товщина вугільного пласта становить 3,0 м. Пласт залягає в товщі алевролітів потужністю по 2,0 м над покрівлею і під подошвою. Зверху та знизу їх знаходяться піщаники: потужність верхнього шару становить 7,0 м, нижнього шару – 2,5 м. Фізико-механічні властивості гірських порід, що використовуються в дослідженні наведені в табл. 1.

В першій серії досліджень виконаємо моделювання виймання пласта вугілля системою Highwall зі шнековим виконавчим органом діаметром 1,0 м на глибину 10 м в двох варіантах. В першому варіанті п'ять шнекових отворів (гірничих виробок) розміщуємо в один ряд. Відстань між виробками в неробочому борту змінюємо від 4,0 до 0,5 м з кроком 0,5 м. У другому варіанті виймання вугілля здійснюємо у два ряди по висоті і виробки розміщуємо в шаховому порядку з відстанню від 4,0 до 0,5 м з кроком 0,5 м.

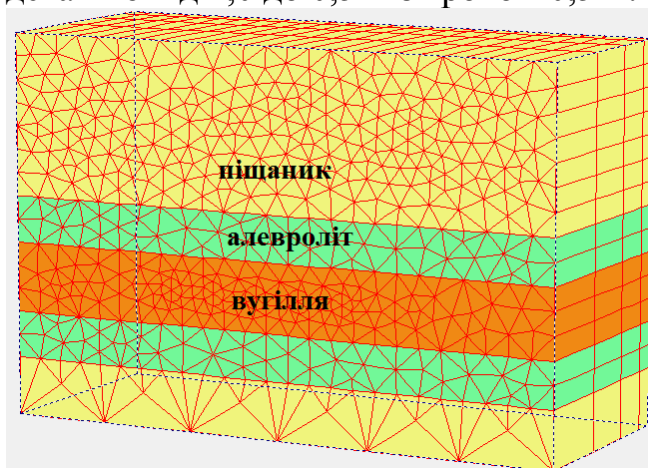


Рис. 1. Тривимірна модель досліджуваного гірського масиву

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості досліджуваних гірських порід

| Назва породи | Щільність, кН/м ³ | Модуль Юнга, кН/м ² | Коефіцієнт Пуасона | Кут внутрішнього тертя, град | Щеплення, кН/м ² |
|--------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Алевроліт | 24,892 | 46·10 ⁶ | 0,25 | 30 | 23·10 ³ |
| Піщаник | 26,068 | 50·10 ⁶ | 0,12 | 35 | 2·10 ³ |
| Вугілля | 15,04 | 19·10 ⁶ | 0,15 | 37 | 9·10 ³ |

Результати розрахунку зміни осідань поверхні борта кар'єру для двох варіантів першої серій досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Зміна осідань, 10-6 м, поверхні борта при різній відстані між виробками

| Розміщення виробок | Відстань між виробками в борту кар'єра, м | | | | | | | |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 |
| В один ряд | 12,86 | 12,97 | 13,21 | 13,47 | 13,66 | 14,25 | 14,93 | 17,08 |
| В два ряди | 15,29 | 15,64 | 16,11 | 16,93 | 17,15 | 16,55 | 19,5 | 18,41 |

На рис. 2 та 3 показано деформований стан блоку після виймання вугілля при різних відстанях між виробками при їх розміщенні в один ряд [8].

На рис. 4 показана графічна залежність зміни осідань поверхні борта в залежності від відстані між виробками, пройденими в борту розрізу. Вона описується з достатньою точністю поліномом 2-го порядку:

$$\eta = 0,46d^2 - 3,1d + 18,08, \quad (1)$$

де η – вертикальне осідання поверхні борта; d – відстань між виробками.

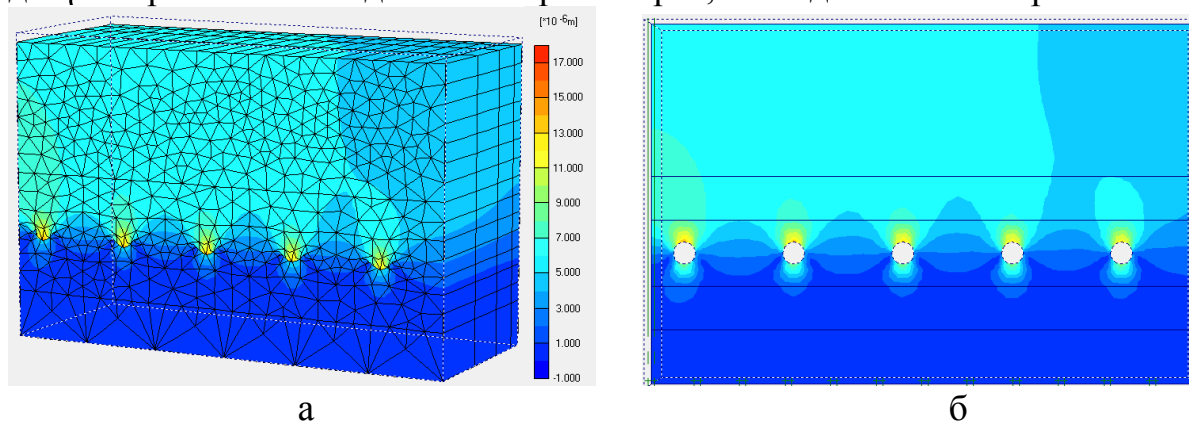


Рис. 2. Деформований стан борта після шнекового виймання прибортових запасів виробками на відстані 4,0 м одна від одної:
а – вигляд спереду; б – розріз на відстані 5,0 м від устя виробки

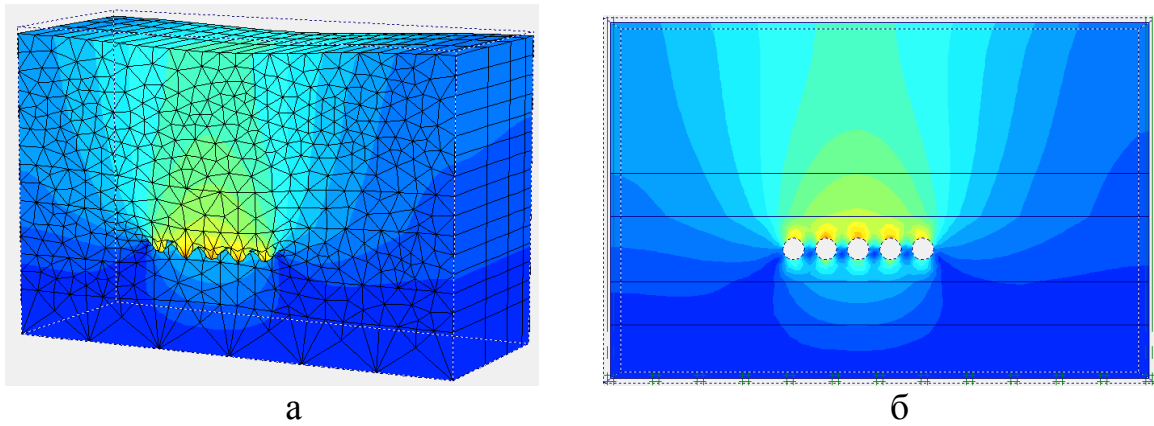


Рис. 3. Деформований стан борта після шнекового виймання прибортових запасів виробками на відстані 0,5 м одна від одної:
а – вигляд спереду; б – розріз на відстані 5,0 м від устя виробки

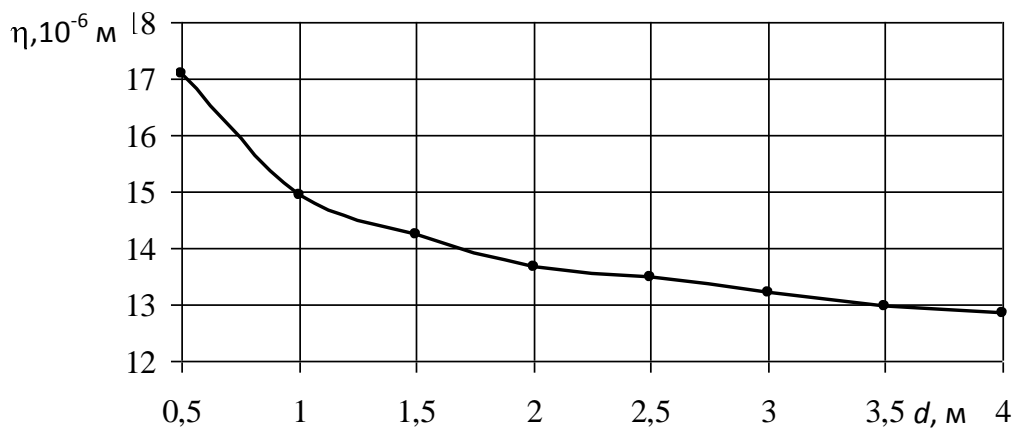


Рис. 4. Зміни осідань поверхні борта кар'єра в залежності від відстані між виробками при їхньому розміщенні в один ряд

На рис. 5 та 6 наведено деформований стан модельного блоку борта кар'єра після виймання вугілля при різних відстанях між гірничими виробками для випадку їхнього розміщення в два ряди у шаховому порядку.

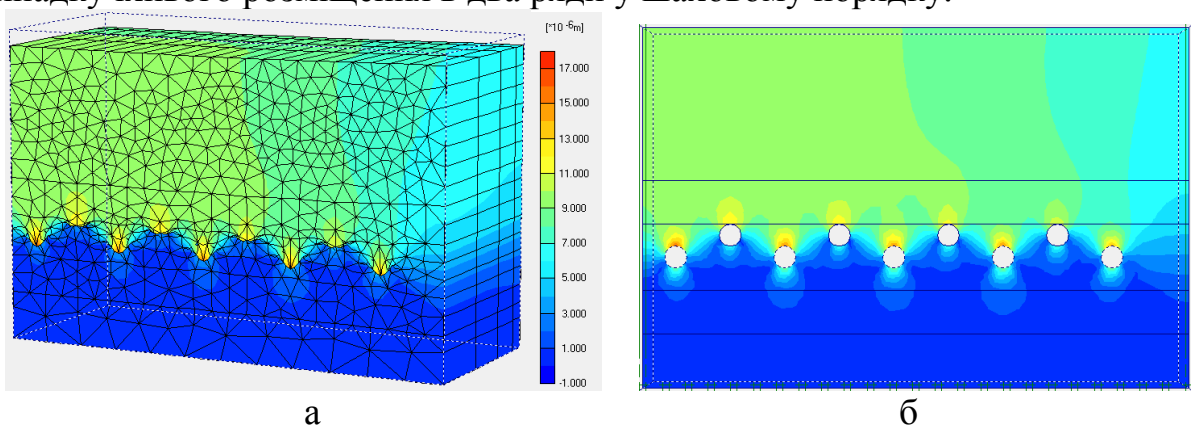


Рис. 5. Деформований стан борта після шнекового виймання прибортових запасів виробками в два ряди в шаховому порядку на відстані 4,0 м в ряду одна від одної: а – вигляд спереду; б – розріз на відстані 5,0 м від устя виробки

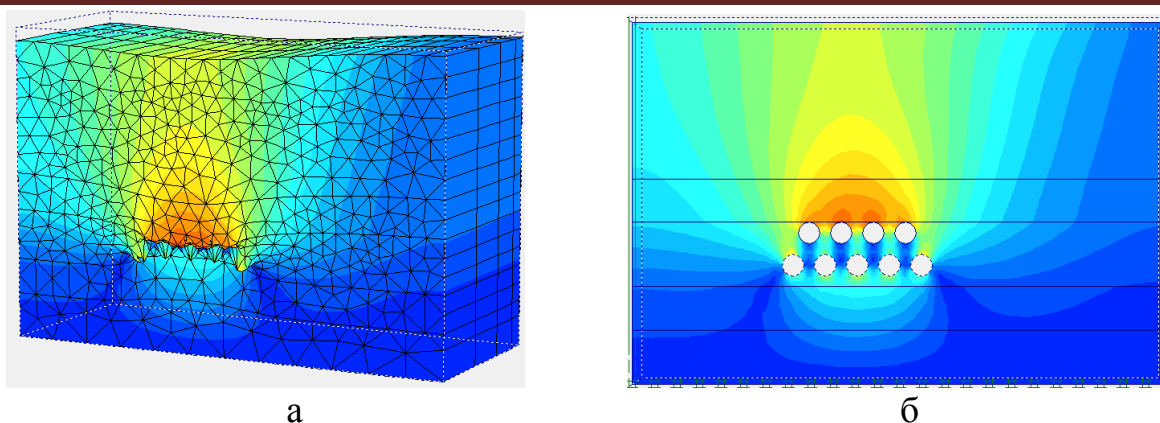


Рис. 6. Деформований стан борта після шнекового виймання прибортових запасів виробками в два ряди в шаховому порядку на відстані 0,5 м в ряду одна від одної:

а – вигляд спереду; б – розріз на відстані 5,0 м від устя виробки

На рис. 7 показана графічна залежність зміни осідань поверхні борта в залежності від відстані між виробками при їх розміщенні в шаховому порядку.

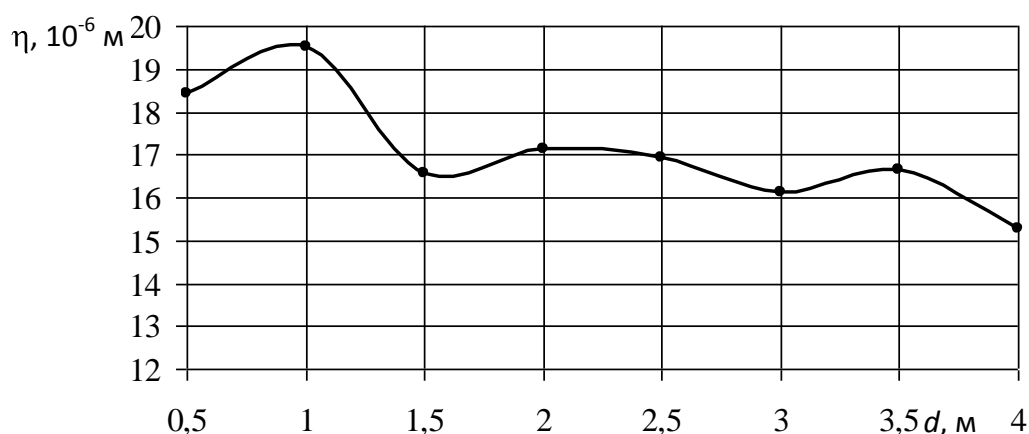


Рис. 7. Зміни осідань поверхні борта кар'єра в залежності від відстані між виробками при їхньому розміщенні в два ряди в шаховому порядку

Залежність на рис. 7 можна описати поліномом 6-го порядку:

$$\eta = -1,04d^6 + 14,42d^5 - 78,62d^4 + 213,84d^3 - 300,49d^2 + 200,15d - 28,79 \quad (2)$$

Аналіз рис. 7 показує, що зміна осідань поверхні борта в залежності від відстані між виробками, пройденими шнековими установками, не має певної закономірності. Хоча в подальшому в цілому спостерігається зменшення величини вертикального осідання борта кар'єру по мірі збільшення відстані між виробками. Максимальне значення осідання поверхні борта кар'єру є меншим за допустиму величину $15 \cdot 10^{-3}$ м, при якій можлива підробка споруд поверхні.

У другій серії досліджень виконано моделювання виймання пласта вугілля системою Highwall з безперервним виконавчим органом. Висота виробки може змінюватися від 1,1 до 4,5 м, ширина приймається рівним

ширині виконавчого органу. Для моделювання приймаємо висоту виробки 2,0 м, ширину – 3,5 м, глибину – 10 м.

Результати розрахунку зміни осідань поверхні борта кар'єру при видобуванні отворами прямокутної форми досліджень наведено в табл.3.

Таблиця 3

Зміна осідань, 10-6 м, поверхні борта при різній відстані між виробками

| Форма перерізу | Відстань між виробками в борту кар'єра, м | | | | | | | |
|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 |
| Прямокутна | 50,27 | 55,67 | 61,89 | 69,11 | 75,76 | 80,53 | 111,83 | 139,00 |

На рис. 8 та 9 наведено деформований стан модельного блоку борта кар'єра після виймання вугілля при різних відстанях між гірничими виробками для випадку їхнього розміщення в один ряд у вигляді прямокутних отворів.

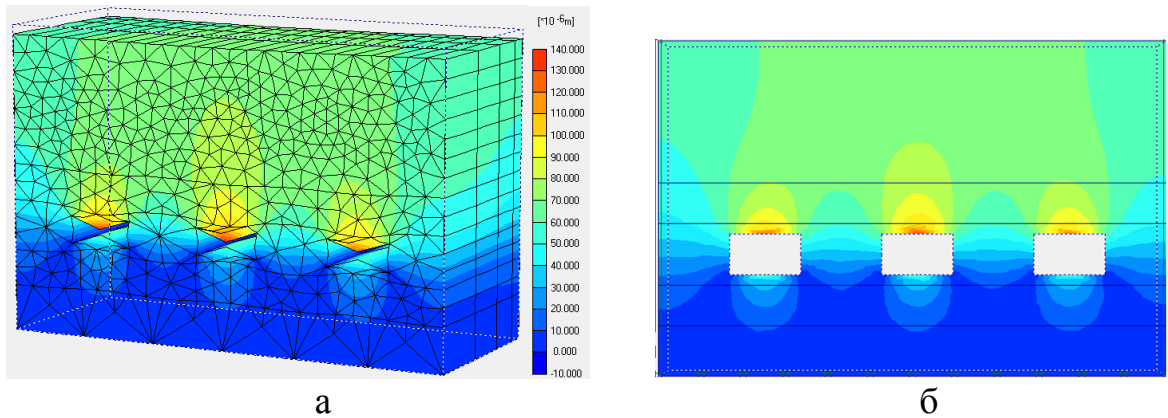


Рис. 8. Деформований стан борта після виймання прибортових запасів виробками в один ряд прямокутної форми на відстані 4 м в ряду одна від одної: а – вигляд спереду; б – розріз на відстані 5,0 м від устя виробки

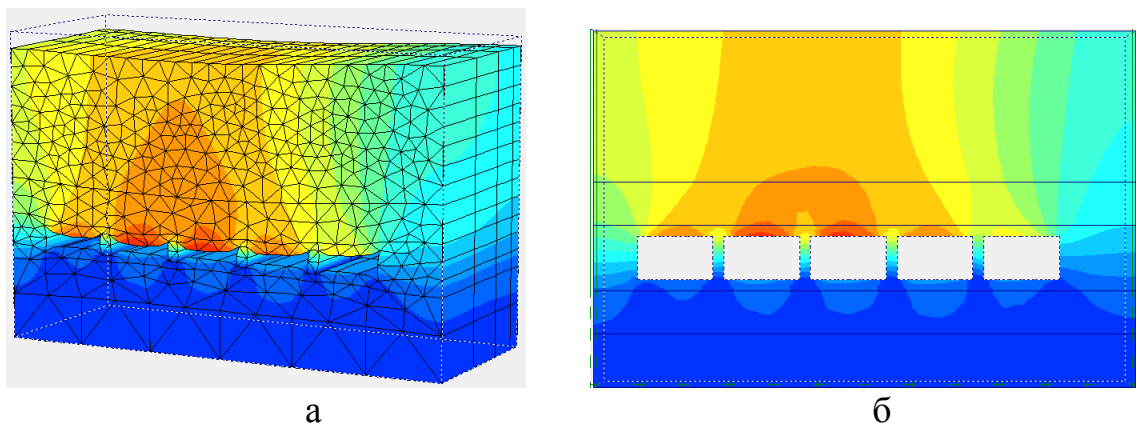


Рис. 9. Деформований стан борта після виймання прибортових запасів виробками в один ряд прямокутної форми на відстані 0,5 м в ряду одна від одної: а – вигляд спереду; б – розріз на відстані 5,0 м від устя виробки

На рис. 10 показана графічна залежність зміни осідань поверхні борта кар'єра в залежності від відстані між виробками прямокутної форми, яку можна описати поліномом 3-го порядку:

$$\eta = -2,56d^3 + 24,77d^2 - 90,23d + 178,62. \quad (3)$$

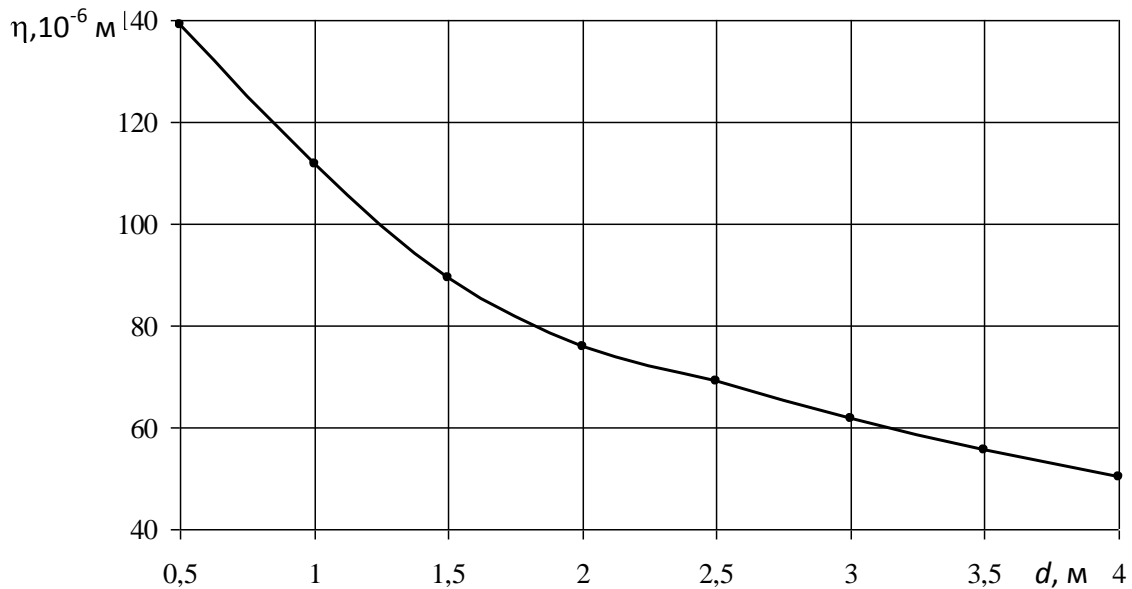


Рис. 10. Зміни осідань поверхні борта кар'єра в залежності від відстані між виробками прямокутної форми при їхньому розміщенні в один ряд

Аналіз даних показує, що при будь-якій відстані між виробками осідання поверхні не перевищує значення, коли можлива підробка споруд ($15 \cdot 10^{-3}$ м).

Висновки

1. В результаті моделювання виймання кам'яного вугілля в борту розрізу встановлено, що при розміщенні виробок круглої форми діаметром 1,0 м в один ряд на відстані від 4,0 до 0,5 м одна від одної руйнування їх не відбувається. При відстані між виробками 0,5 м осідання поверхні ($17,08 \cdot 10^{-6}$ м) в 1,33 рази більше ніж при відстані 4,0 м ($12,86 \cdot 10^{-6}$ м), тобто деформації є незначними. Зміна осідань на поверхні борта при відстані між виробками 0,5 м не досягає критичної величини $15 \cdot 10^{-3}$ м, при якій може бути підробка споруд поверхні.

2. При розміщенні шнекових отворів в два ряди в шаховому порядку зміна осідань не має певної закономірності. Зокрема, при відстані між виробками 0,5 м осідання поверхні менше ($18,41 \cdot 10^{-6}$ м), ніж при відстані 1,0 м ($19,5 \cdot 10^{-6}$ м). Хоча в цілому спостерігається зменшення величини вертикального осідання борта по мірі збільшення відстані між виробками. Якщо порівнювати величини осідань при розміщенні свердловин в два ряди в шаховому порядку та в один ряд, то збільшення вертикальних осідань спостерігається на 8...31 %.

3. Моделювання виймання кам'яного вугілля виробками прямокутного перерізу показує, що в порівнянні зі шнековим вийманням вугільних пластів вертикальне осідання поверхні збільшується в 8-9 разів при відстані між виробками 0,5 м ($139 \cdot 10^{-6}$ м) та в 4-5 разів – при відстані 4,0 м ($50,27 \cdot 10^{-6}$ м).

Список використаних джерел

1. Каплунов, Д.Р. Комбинированная геотехнология [Текст] / Д.Р. Каплунов, В.Н. Калмыков, М.В. Рыльникова // М.: Издательский дом «Руда и металлы». – 2003. – С. 560.

2. Фролов, О.О. Відробка запасів корисних копалин в неробочих бортах кар'єрів комплексами Highwall [Текст] / І.В. Стецьків, І.К. Бабичев, О.О. Фролов / Розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнародної науково-техн. конференції, травень 2016 р. / – м. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016. – С. 55-56.

3. H. Shimada, Y. Chen, A. Hamanaka, T. Sasaoka, H. Shimada and K. Matsui. Application of Highwall Mining System to Recover Residual Coal in End-walls /Procedia Earth and Planetary Science / Procedia Earth and Planetary Science Volume 6, Pages 1-492 (2013) / International Conference on Earth Science and Technology Proceedings September 2012. Pages 311-318.

4. T. Sasaoka, H. Shimada, A. Hamanaka, B. Sulistianto, M. Ichinose and K. Matsui. Geotechnical Issues on Application of Highwall Mining System in Indonesia / Vietrock2015 an ISRM specialized conference, 12-13 March 2015, Hanoi, Vietnam.

5. Нецветаев, А. Г. Алгоритм расчета геомеханических параметров, обеспечивающих безопасность технологии безлюдной добычи угля с применением КГРП [Текст] / А. Г. Нецветаев, А. А. Григорян, Д. И. Пружина // Уголь. – 2015. – № 1. – С. 25-29.

6. Seib, W.T., 1993. Australian Coal Mining Practice, A.J. Hargraves & C.H. Martin (eds.), The Australian Institute of Mining Metallurgy, 238-242.

7. Plaxis Version 8 Scientific Manual. Edited by R.B.J. Brinkgreve Delft University of Technology & PLAXIS b.v.

8. Фролов, О.О. Моделювання пружно-пластичного деформування бортів кар'єру під час виймання прибортових запасів вугілля [Текст] / О.О. Фролов, І.К. Бабичев, І.В. Стецьків, О.М. Клеван // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2015. – №3(74). – С. 141-149.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2016р.