

ния скважинного заряда ВВ с воздушным промежутком и отражателем из сыпучих материалов, с целью изменения характера взрывного воздействия на разрушаемую среду, для повышения КПД взрыва.

Выводы

На основании гидродинамической теории действия взрыва в твердой среде установлены закономерности распределения гранулометрического состава взорванной горной массы от энергетических характеристик образования зоны разрушения при взрыве скважинного заряда. Анализируя полученные результаты согласно формул (14)-(16), следует отметить, что наличие в скважинном заряде ВВ [3] воздушного промежутка и отражателя из сыпучих материалов позволяет снизить тепловые потери и интенсивность дробления в ближней зоне от заряда ВВ. Это позволяет повысить эффективность использования энергии взрыва.

Библиографический список

1. Мельников Н. В., Марченко Л. Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. – М.: Недра, 1964. – 138 с.
2. Эффективные методы управления процессами взрывного дробления и выброса / Н. В. Мельников, Л. П. Марченко, И. П. Сеинов и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1971. – № 2. – С. 37.
3. Пат. № 35423 Украина МПК F42D 1/00 F42D 3/00. Свердловинний заряд / Гапоненко А. Л. и др.
4. Кузнецов В. М. О плоской волне разрушения. ФГВ. – 1974. – № 1. – С. 124-127.
5. Механический эффект подземного взрыва / В. Н. Родионов, В. В. Адушкин и др. / Под ред. М. А. Садовского. – М.: Недра, 1971. – 220 с.
6. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.

Поступила 26.01.2015



УДК 622.014.2

Наука

Зубко С. А. /к. т. н./
ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат»

Кононенко М. М. /к. т. н./,
Петльованій М. В. /к. т. н./
ДВНЗ «НГУ»

Обґрунтування раціональних параметрів камер третьої черги відпрацювання при підземному видобутку залізної руди

Обґрунтовано ширину очисної камери третьої черги відпрацювання на контакті зі слабкими породами висячого боку, а також удосконалено методіку розрахунку параметрів систем розробки із закладкою. Іл. 7. Бібліогр.: 7 найм.

Ключові слова: напружено-деформований стан, камери третьої черги відпрацювання, слабкі породи висячого боку, параметри систем розробки

The width of stope chamber of third stage mining in contact with weak rocks of hanging wall is justified. The calculation technique of mining methods with backfilling is improved.

Keywords: stress-strain state, chamber of third stage mining, weak rocks of hanging wall, technique of mining methods

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами

Одним з показників, що характеризує ефективність камерних систем розробки із закладанням, є збіднення руди. В умовах нестійких порід висячого боку Південно-Білозерського родовища збіднення сягає 12 %, що суттєво знижує

техніко-економічні показники по системі розробки. На шляху збільшення річної продуктивності понад 4,5 млн т на рік головним стримуючим фактором на приватному акціонерному товаристві «Запорізький залізорудний комбінат» (ПАТ «ЗЗРК») є недостатні темпи розкриття й підготовки нових горизонтів. З метою інтенси-

фікації підготовчих і очисних робіт починаючи з горизонту 640 м у 2001 році Науково-дослідним гірничорудним інститутом Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» (НДГРІ ДВНЗ «КНУ») був упроваджений варіант поверхово-камерної системи розробки із закладанням, який має високе похиле днище у напрямку порід висячого боку покладу. Для цього поклад поділяють на камери першої, другої і третьої черг відпрацювання.

Руда, яка розміщена у похилому днищі камер першої черги, відпрацьовуються за допомогою камер третьої черги в умовах інтенсивної дії гірського тиску у вигляді обвалень слабких порід висячого боку, які зростають зі збільшенням глибини розробки. Це призводить до збіднення руди та зростання економічних збитків за рахунок низької ціни на низькосортну руду. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження геомеханічних процесів, які протікають в масиві гірських порід, що оточують камери останньої черги відпрацювання.

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідженням напружено-деформованого стану (НДС) масиву гірських порід навколо очисного простору та обґрунтуванням раціональних параметрів камерних систем розробки займалися С. Г. Борисенко, Ю. П. Капленко, М. М. Кононенко, О. М. Кузьменко, В. Ф. Лавриненко, В. С. Нігматулін, В. Ю. Усатий, М. І. Ступнік, Г. Т. Фаустов, О. Є. Хоменко, В. В. Цариковський, Є. П. Чистяков та ін. [1-7]. Відсутність достатнього наукового обґрунтування параметрів для очисних камер третьої черги відпрацювання, що знаходяться на контакті зі слабкими породами та підроблені і надроблені закладеними камерами, сприяє зниженню безпеки гірничих робіт, підвищенню збіднення і собівартості видобутку руди. Таким чином, обґрунтування раціональних параметрів систем розробки при видобуванні залізних руд у слабких вміщуючих породах камерами третьої черги відпрацювання має актуальне значення.

Постановка завдань

Метою дослідження є обґрунтування раціональних параметрів системи розробки залізних руд з урахуванням зміни напружень в масиві гірських порід навколо очисних камер третьої черги відпрацювання.

Для досягнення поставленої мети сформульовані і вирішені наступні задачі:

- встановити вплив гірського тиску і параметрів камерних систем розробки із закладанням на масив гірських порід;
- виявити закономірності зміни концентрацій напружень у масиві навколо очисних камер;

- обґрунтувати раціональні параметри камер третьої черги відпрацювання в умовах нестійких порід висячого боку покладу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз наукових-технічних і проектно-конструкторських джерел та технології відпрацювання запасів залізних руд за допомогою камерної системи розробки із закладанням на шахтах ПАТ «ЗЗРК» дозволив встановити, що геологічні умови відпрацювання Південно-Білозерського родовища постійно погіршуються. Це пов'язано із збільшенням глибини розробки та зміною напружено-деформованого стану масиву гірських порід і вимагає прийняття нових технологічних рішень, що стосуються, в першу чергу, параметрів і порядку відпрацювання очисних камер. Тому, зі зміною глибини ведення гірничих робіт і збільшенням напруженості масиву, особливу увагу необхідно приділяти залежності параметрів камер і ціликів від типу і стану вміщуючих порід, що забезпечить стабільну і ефективну роботу підприємств на майбутній період роботи.

Для вирішення першої та другої задач дослідження розроблені методики фізичного моделювання на еквівалентних і оптико-поляризаційних матеріалах. Дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів при дотриманні подібності моделі натурних умов [11] дозволяють одержувати дані про стійкість конструктивних елементів систем розробки при різних відтворюваних на моделях форм і розмірів вироблених просторів.

Методика фізичного моделювання містила добір і приготування еквівалентних матеріалів, формування та навантаження моделей, проведення експериментів. Лабораторні дослідження стійкості конструктивних елементів системи розробки проводилися на спеціальній установці моделювання гірського тиску шляхом інструментального виміру величин деформації матеріалу навколо очисних камер для поверхів 740-840, 840-940 і 940-1040 м. Для цього в еквівалентному матеріалі утворювали порожнини, що імітували етапи відпрацювання очисної камери в масштабі 1:250. Відповідно до методики дослідження, моделювання складалося з 3 етапів: відпрацювання моделей камери лежачого боку, закладка камери лежачого боку і відпрацювання камери біля висячого боку. При моделюванні відпрацювання камери лежачого боку і її закладання, деформації масиву моделі не було зафіксовано. Моделювання відпрацювання моделі камери у висячого боку подано на рис. 1.

При моделюванні відпрацювання 100 % запасів камери, розташованої біля висячого боку в

місці сполучення висячого боку камери з похилим днищем (область підвищених концентрацій напружень), відбулося деформування масиву моделі (рис. 1). Відслонення масиву висячого боку сягало 17,3 см, що відповідає 43,25 м в натурі. У похилому рудному днищі камери на даному етапі зафіксовано розвиток області утворення тріщин у напрямку, паралельному площині днища з кроком 0,8 см за індикаторною лінійкою, що відповідає 2 м в натурі. Дослідження поведінки масиву навколо камери дозволило встановити графіки залежності величини деформації масиву від глибини ведення гірничих робіт (рис. 2).

Подальші дослідження дозволили встановити залежності деформації масиву від глибини ведення гірничих робіт для камер, розташованих у висячому боці покладу:

- для масиву порід висячого боку

$$U = 0,75e^{0,001H}, \text{ см, при } R^2 = 0,957, \quad (1)$$

де H - глибина закладання камери, м; R - вірогідність апроксимації.

- для масиву руди в похилому днищі камери

$$U = 0,076e^{0,002H}, \text{ см, при } R^2 = 0,956. \quad (2)$$

Методика моделювання на оптико-поляризаційних матеріалах містила добір і приготування матеріалу, формування та навантаження моделей, проведення експериментів. Виходячи з розмірів моделі, які визначені габаритами (касети), враховуючи граничні умови і намагаючись досягти максимально можливих розмірів досліджуваних об'єктів (вироблених просторів очисних камер і прилегло до них гірського масиву), моделювання здійснювали у геометричному масштабі 1:1000.

Для дослідження розподілу напружень у нижньому поверсі до початку його відпрацювання відтворена динаміка відпрацювання та закладки камер вище розташованих поверхів з дотриманням геометричної подібності. Потім для імітації відпрацювання за схемою камерацилик виконано моделювання відпрацювання камер поверху 605-740 м і 715-840 м шириною 30 і 15 м (рис. 3).

Для випробувань у масиві моделі відповідно за масштабом вирізали очисний простір, який відповідає за формою і розмірами виробленому простору камери згідно з етапами її відпрацювання.

Виконані дослідження виготовлених і випробуваних моделей з оптично чутливого матеріалу (ігдантину) при просвічуванні поляризованими променями дозволили отримати величини напружень в прилеглому до очисного простору гірському масиві. Встановлено, що при відпрацюванні камер висячого боку в слабких

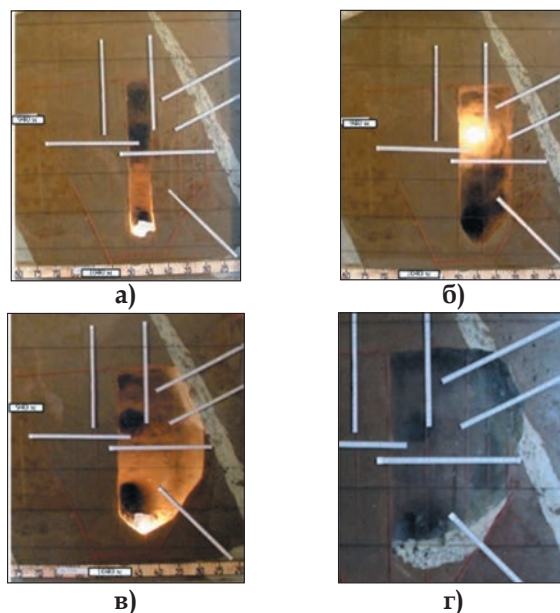


Рис. 1. Моделювання розробки запасів камери у висячому боці поверху 940-1040 м за етапами її відпрацювання:

а - утворення відрізної щілини; б - відпрацювання 50 % запасів руди; в - відпрацювання 85 % запасів руди; г - відпрацювання 100 % запасів руди

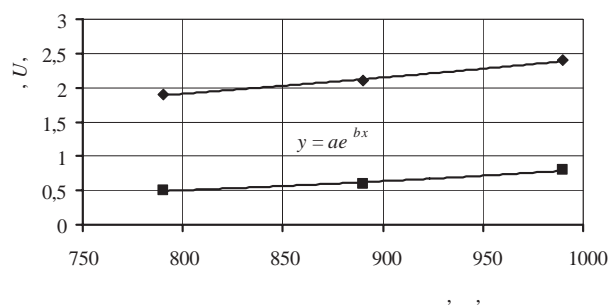


Рис. 2. Величина деформації масиву моделі від глибини ведення гірничих робіт:

◆ - в масиві порід висячого боку; ■ - в масиві руди в похилому днищі камери

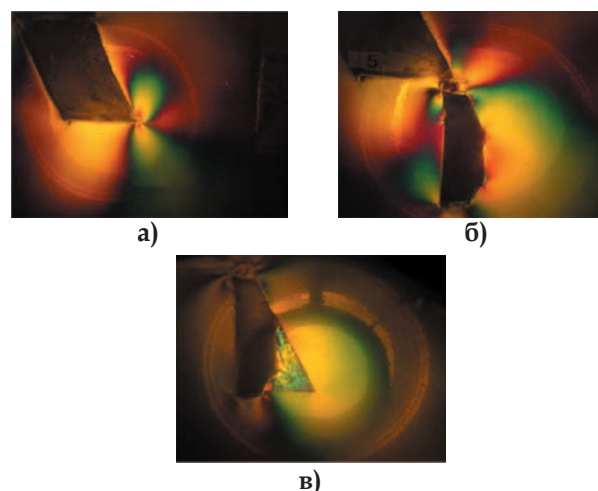


Рис. 3. Ізохромні до початку відпрацювання камери шириною 30 м (а) і після відпрацювання (б) камери висячого боку поверху 740-840 м та камери шириною 15 м (в)

ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

вміщуючих породах напруження перевищують припустимі. Зі залишенням цілика, рівного 0,5 ширини камери лежачого боку, напруження порід висячого боку зменшуються в 2,5-3 рази, що дозволяє визначити раціональні параметри камер висячого боку.

За результатами моделювання відпрацювання камер у поверхах 605-740 м і 715-840 м, визначено коефіцієнти концентрації максимальних напружень у зоні впливу камер. Епюри коефіцієнтів концентрації максимальних напружень навколо камер поверху 605-740 м і 715-840 м при їх спільному відпрацюванні подано на рис. 4.

Подальші дослідження дозволили отримати графік залежності коефіцієнту концентрації напружень від збільшення глибини ведення гірничих робіт (рис. 5) та збільшення відстані від камери у напрямку порід висячого боку покладу L (рис. 6).

Виконавши апроксимацію за допомогою програми Microsoft Excel, отримано емпіричне рівняння залежності коефіцієнта концентрації напружень K_{KH} від глибини ведення гірничих робіт H

$$K_{KH} = 0,58e^{0,0009H}, \text{ при } R^2 = 0,983. \quad (3)$$

Подальші дослідження дозволили отримати емпіричне рівняння залежності коефіцієнта концентрації напружень K_{KH} від відстані до камери у напрямку порід висячого боку покладу L

$$K_{KH} = 3e^{-0,01L}, \text{ при } R^2 = 0,982. \quad (4)$$

Отримані залежності дозволяють удосконалити методику визначення параметрів камерних систем розробки за рахунок уточнення коефіцієнта концентрації напружень і обґрунтувати раціональні параметри системи розробки, удосконаливши технологію відпрацювання ка-

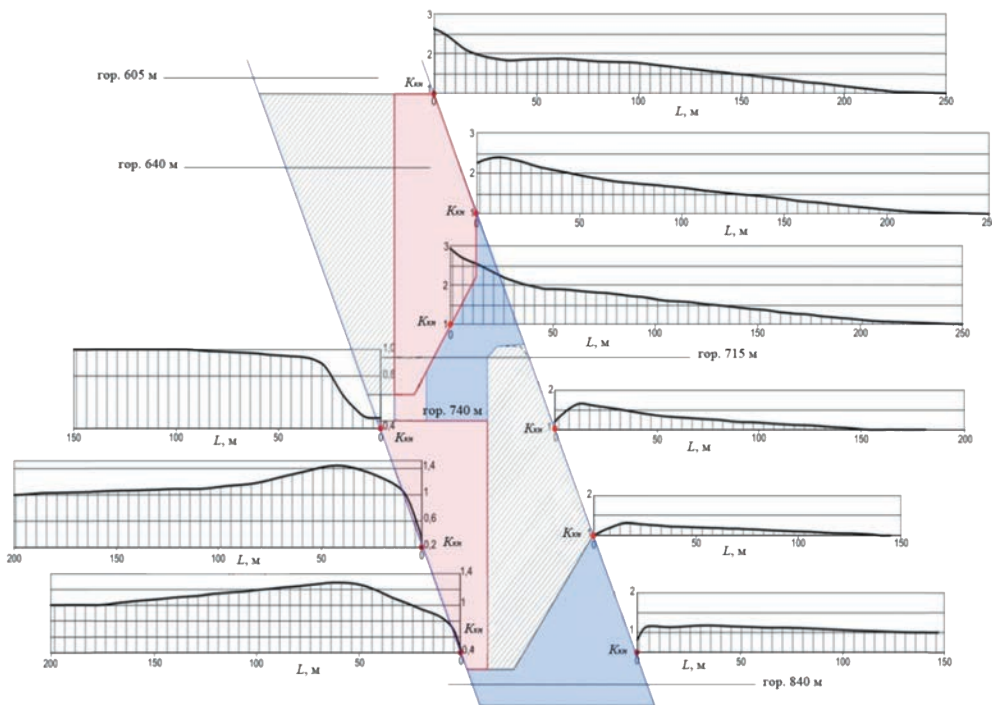


Рис. 4. Епюри коефіцієнтів концентрації максимальних напружень навколо камер поверху 605-740 м і 715-840 м при їх спільному відпрацюванні:

K_{KH} – коефіцієнт концентрації напружень; L – відстань від контуру камери

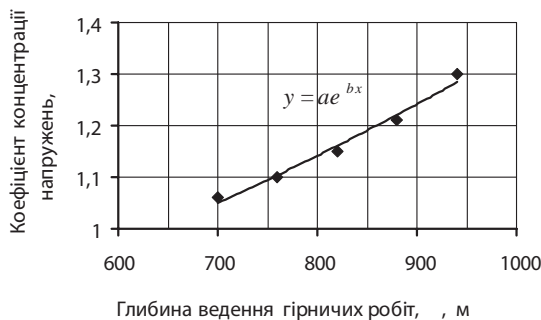


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнта концентрації напружень K_{KH} від глибини ведення гірничих робіт H

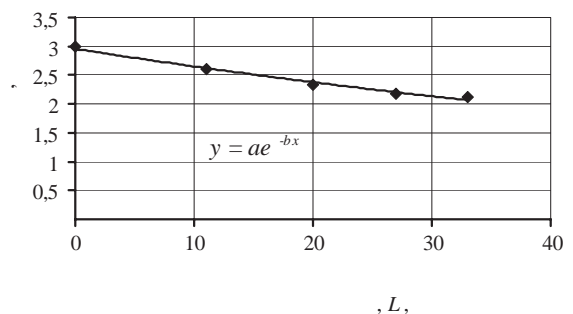


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнта концентрації напружень K_{KH} від відстані до камери в сторону порід висячого боку L

мер висячого боку покладу в слабких вміщуючих породах.

Удосконалення методики визначення параметрів систем розробки із закладанням, яка розроблена у НДГРІ ДВНЗ «КНУ», здійснювали за допомогою аналізу результатів фізичного моделювання та промислових досліджень, а також уточнення коефіцієнту концентрації напружень $K_{кн}$, що доповнює офіційно діючу методику визначення параметрів.

Розрахунок параметрів камери:

1. Припустимий еквівалентний проліт камери вхрест простягання покладу

$$L_{b1} = \pi^2 \sqrt[3]{3f_p} \sqrt{\frac{R_p}{K_{кн} \cdot \gamma \cdot H_{cp}}}, \text{ м,}$$

де f_p – коефіцієнт міцності руди; R_p – міцність гірських порід і штучного масиву від їх міцності:
– при $f \leq 7$

$$R_p = 1000 \cdot f, \text{ т/м}^2;$$

– при $f > 7$

$$R_p = 3000 \cdot (f + 5 - \sqrt{10 \cdot f + 25}), \text{ т/м}^2;$$

$K_{кн}$ – коефіцієнт концентрації напружень у надпрацьованому рудному масиві і розташованому під закладеним виробленим простором, для камер у лежачому боці $K_{кн} = 0,4$, для центральних камер $K_{кн} = 0,6$, для камер, що відпрацьовуються на всю потужність покладу $K_{кн} = 0,75$, у закладеному масиві (закладці), незалежно від розташування камери $K_{кн} = 0,2$, для камер у висячому боці визначається за результатами досліджень за формулою:

$$K_{кн} = 1,79e^{(0,0009H - 0,01L)}; \quad (5)$$

γ – об'ємна вага порід, т/м³; H_{cp} – глибина проведення гірничих робіт (розробки) до середини поверху, м.

2. Розмір камери вхрест простягання (довжина камери)

$$B = \frac{L_{b1} \cdot h_k}{\sqrt{h_k^2 - L_{b1}^2}}, \text{ м,}$$

де h_k – висота камери, м.

3. Допустимий еквівалентний проліт камери за простяганням

$$L_{b2} = \frac{\pi^2}{\pi - 2 \sin \beta} \sqrt{\frac{R_p}{K_{кн} \cdot \gamma \cdot H_{cp}}}, \text{ м,}$$

де β – кут падіння порід висячого боку покладу, град.

4. Розмір камери за простяганням поряд (ширина камери)

$$A = \frac{L_{b2} \cdot h_k}{\sqrt{h_k^2 - L_{b2}^2}}, \text{ м.}$$

За результатами розрахунку параметрів системи розробки за удосконаленою методикою для похилого днища камери, що примикає до слабких порід висячого боку у поверсі 715-840 м встановлено, що коефіцієнт концентрації напружень $K_{кн} = 2,4$, ширина камери – 15 м, а довжина – 24 м. Тоді як за офіційною методикою коефіцієнт концентрації напружень $K_{кн} = 1,2$, ширина камери – 30 м, а довжина – 50 м. Але при цих параметрах зафіксовані прояви гірського тиску у вигляді зміщення порід у напрямку очисного простору камери.

Для вирішення третього завдання дослідження була виділена експериментальна ділянка шахтного поля – камера 4/7ю на горизонті 715-840 м з шириною 15 м розрахованою з уточненим коефіцієнтом концентрації напружень (рис. 7).

У районі розробки експериментальної ділянки протягом всього циклу відпрацювання запасів був виконаний геофізичний контроль прилеглого масиву. За допомогою звукометричного методу контролю (прибор типу ЗІР-1) стану масиву встановлено, що результуючі величини просідань масиву не перевищили 0,035 м, порушень у вигляді відшаровувань і обвалень у штреках висячого боку не встановлено, а величини зміщень не перевищували припустимих 0,05 м. Виконані дослідження дозволили встановити, що з пониженням рівня очисних робіт забезпечення стійкості висячого боку є актуальною проблемою, що вимагає конкретних технічних рішень, одним з яких є відпрацювання частини рудного тіла у висячому боці камерами третьої черги зменшених розмірів.

Висновки

За допомогою поляризаційно-оптичного моделювання, моделей з еквівалентних матеріалів і натурних спостережень встановлені наступні нові наукові результати, що розвивають та доповнюють існуючі знання з обґрунтування раціональних параметрів камерних систем розробки:

– встановлено, що величини деформацій масиву, які розвиваються у похилому днищі очисних камер і породах висячого боку покладу, зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт зростають за експонентною залежністю, що дозволяє на цій основі мінімізувати розміри області тріщиноутворення та зміщення порід висячого боку покладу у напрямку очисного простору.

– встановлено, що збільшення глибини ведення гірничих робіт і зменшення відстані від камери у бік порід висячого боку призводить до зростання коефіцієнту концентрації напружень у масиві руди, який змінюється за експонентною залежністю, що дозволяє обґрунтувати

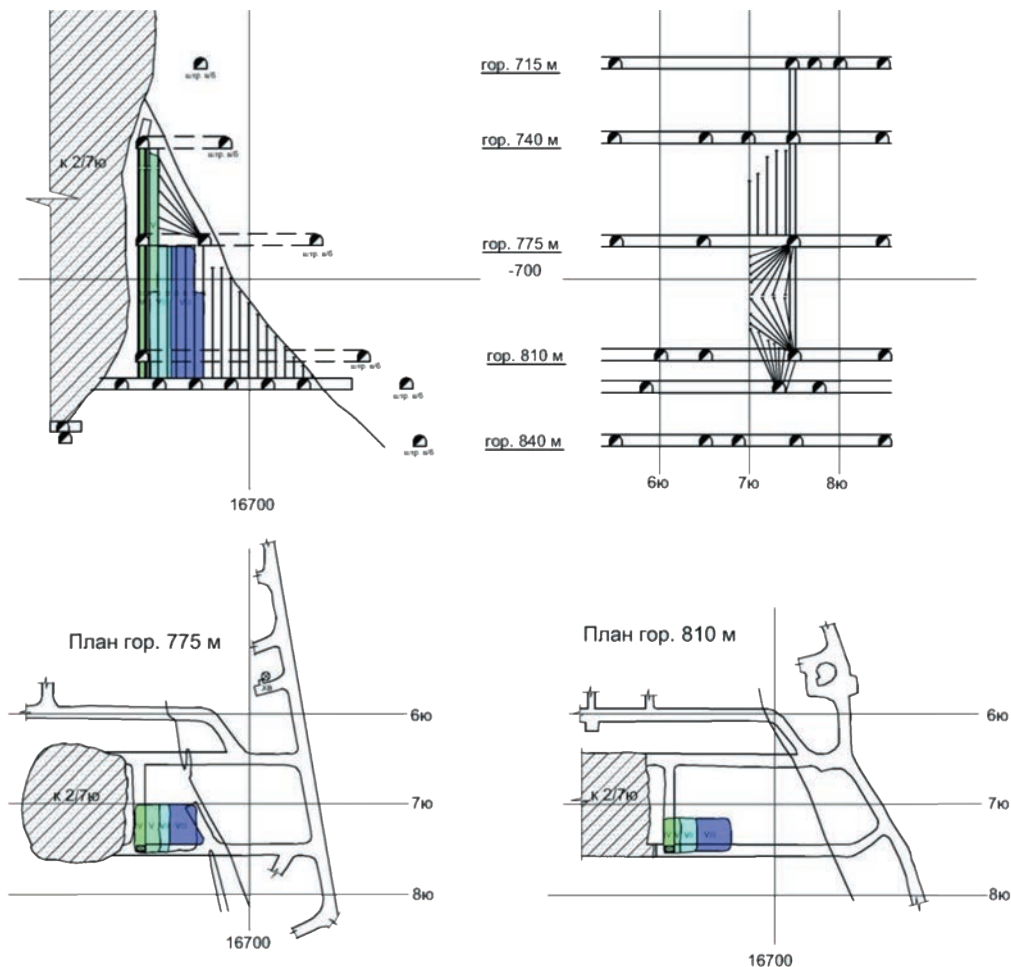


Рис. 7. Етапи відпрацювання експериментальної ділянки камери 4/7ю горизонту 715-840 м

ширину очисної камери третьої черги відпрацювання.

– удосконалено методику розрахунку параметрів очисного простору камер шляхом уточнення коефіцієнта $K_{кн}$ для камер третьої черги відпрацювання.

Бібліографічний список

1. Борисенко С. Г. Влияния закладки или обрушения вмещающих пород на напряжения вокруг камер / С. Г. Борисенко, Е. Н. Комской // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 1964. – № 3. – С. 18-24.
2. Капленко Ю. П. Влияние напряженно-деформированного состояния горного массива горногеологических условий на параметры обнажений и форму очистных камер / Капленко Ю. П., Цариковский В. В. // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ. – 2005. – Вып. 88. – С. 21-24.
3. Кононенко М. М. Дослідження напружено-деформованого стану масиву навколо очисних камер / М. М. Кононенко // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 51-53.

4. Кузьменко А. М. Исследование напряженно-деформированного состояния массива вокруг наклонной поверхности высоких камер с твердеющей закладкой / А. М. Кузьменко, В. Ю. Усатый, В. В. Усатый // Межвед. сб. науч. труд. ИГТМ НАН Украины. – 2004. – Вып. 49. – С. 129-133.

5. Лавриненко В. Ф. Формирование напряжений вокруг очистных и подготовительных выработок / В. Ф. Лавриненко, В. И. Лысак // Разработка рудных месторождений. – 1985. – Вып. 40. – С. 13-17.

6. Нигматуллин В. С. Влияние степени подработки рудного массива на деформацию выработок / В. С. Нигматуллин // Подземная добыча руд черных металлов. – Кривой Рог: НИГРИ. – 1979. – С. 54-57.

7. Ступник Н. И. Снижение потерь и засорения руды, за счет применения переуплотняемого слоя руды / Н. И. Ступник, С. В. Письменный // Горная промышленность. – 2011. – Вып. Специальный выпуск. – С. 35-37.

Поступила 27.01.2015