

М.М. Кононенко

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ НАВКОЛО ОЧИСНИХ КАМЕР

INVESTIGATION OF STRESS AND STRAIN CONDITION AREA AROUND MINING CAMERAS

Виконано аналіз виробничої ситуації з розвитку гірничих робіт при розробці Південно-Білозерського родовища за допомогою камерної системи розробки із закладкою. Проведені аналітичні дослідження полів напружень навколо первинних очисних камер дозволили встановити області концентрації напружень, що розташовуються в породах висячого і лежачого боків у масиві руди та закладки. Виконано дослідження впливу глибини закладання очисних камер на вміщуючий масив гірських порід. Встановлено, що збільшення глибини гірничих робіт супроводжується збільшенням зон розвантаження і підвищенням напруженості масиву гірських порід навколо камер. Виявлено експоненціальні залежності зміни радіальних напружень для масиву руди.

Ключові слова: напружено-деформований стан масиву, камерна система розробки, зони розвантаження.

Постановка проблеми. Закрите акціонерне товариство «Запорізький залізорудний комбінат» (ЗАТ «ЗЗРК») одне з найбільших підприємств України, яке видобуває багату залізну руду підземним способом. ЗАТ «ЗЗРК» базується на розробці руд Південно-Білозерського і Переверзівського родовищ. Видобуток руд здійснюється за допомогою розробленого і впровадженого в 2001 році Державним підприємством «Науково-дослідний гірничорудний інститут» (ДП «НДГРІ», м. Кривий Ріг) нового варіанта поверхово-камерної системи розробки з твердіючою закладкою, який характеризується зміненою формою очисних камер вхрест простягання покладу. Особливістю варіанта є поділ покладу на дві очисні камери – первинну і вторинну. Характерною особливістю первинних очисних камер є наявність високого похилого днища, що примикає до висячого боку покладу. Збільшення глибини гірничих робіт призводить до інтенсивного прояву гірського тиску в прилеглому масиві гірських порід, що примикає до очисних камер, яке виявляється в бурових виробках.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Для дослідження напружено-деформованого стану масиву поблизу первинних очисних камер виконували вибір аналітичного методу, який проведений згідно світовим тенденціям розвитку підходів до дослідження. Їх орієнтування направлене на застосування синергетичного підходу [1], яким характеризується розроблений у Криворізькому технічному університеті термодинамічний метод [2].

Постановка завдання. Метою досліджень є вивчення напруженості масиву гірських порід навколо первинної очисної камери зі збільшенням глибини гірничих робіт. Основними завданнями аналітичного моделювання стали дослідження: полів напружень навколо первинної очисної камери; впливу глибини закладання первинної очисної камери; виявлення закономірності зміни радіальних напружень для масиву руди.

Основна частина. Як приклад, розглядалися формування полів напружень в масиві навколо первин-

ної очисної камери, яка у свою чергу є середньостатистичною камерою горизонту 740 м. До моделювання приймали очисну камеру з усередненими геотехнічними умовами (глибина розміщення камери $H = 740$ м, кут падіння покладу $\alpha = 68^\circ$, горизонтальна потужність покладу $m = 84$ м, міцність руди на одновісний стиск $\sigma_{cm} = 60$ МПа, міцність гірських порід висячого боку на одновісний стиск $\sigma_{cm} = 140$ МПа, міцність гірських порід лежачого боку на одновісний стиск $\sigma_{cm} = 80$ МПа). Масив зони розвантаження, що оточує очисну камеру, характеризується чотирма основними областями концентрації напружень. Розташовуючись в породах висячого і лежачого боків, в масиві руди і закладки, вони є областями розширення. Як у породах висячого, так і лежачого боків області розширення частково «обволікають» очисну камеру (рис. 1).

Основні області концентрації напружень, які формуються в масиві зони розвантаження, властиві як радіальним (нормальним) σ_p , так і тангенціальним (дотичним) τ_p напруженням. Останні характеризуються меншими значеннями напружень. Обидва види напружень формують напружено-деформований стан масиву гірських порід. Відношення між граничними напруженнями розтягу σ_p і зрушення τ_p приймаємо рівним $\sigma_p = 0,9\tau_p$. Отже, оцінка напружено-деформованого стану нами проводилась по максимальним напруженням, що діють в масиві порід – радіальним σ_p .

Основні області концентрації напружень розташовуються в породах висячого і лежачого боків, в масиві руди і закладки. У всіх областях діють розтягальні напруження, які змінюються по прямо пропорційним лінійним залежностям. Значення напружень в масиві зростають від межі зони розвантаження у напрямі відслонення масиву очисною камерою.

Область розтягуючих напружень розташована в породах висячого боку. Її розміри складають 53 м. Величина максимального розтягального напруження складає 3,2 МПа або близько 1,7 γH . Форма ізоліній – еліпсоїдна. Область розтягальних напружень розташована в породах

висячого боку, рудному масиві і закладці, безпосередньо в покрівлі камери. Її розміри складають 28 м. Величина максимального розтягального напруження складає 2,4 МПа або близько 1,3 γH . Форма ізоліній – еліпсоїдна. Область розтягальних напружень розташована в породах лежачого боку і в рудному масиві очисної камери. Її розміри складають 53 м. Величина максимального розтягального напруження складає 5,7 МПа або близько 3 γH .

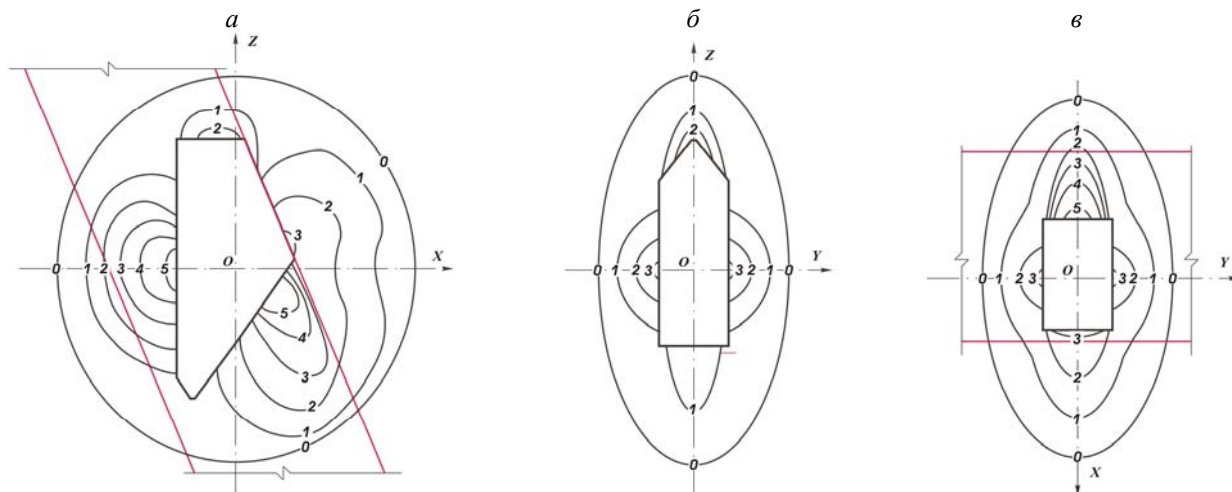


Рис. 1. Ізолінії радіальних напружень σ_r в масиві, що оточують очисну камеру в площинах: ZOx (а), ZOy (б) і XOy (в), МПа

Моделювання напружено-деформованого стану, що оточує первинну очисну камеру, виконане для запасів руди, які відпрацьовуються в поверсі 640...740 м. Проведений аналіз глибин закладання первинних очисних камер вказує на діапазон областей розтягальних напружень, який збільшується. В результаті цього становить значний інтерес дослідження напружено-деформованого стану зі зміною глибини закладання первинних очисних камер, а саме моделювання відпрацювання запасів руди в поверхах 740...840 і 840...940 м. Для дослідження впливу глибини закладання аналізу були піддані первинні очисні камери, що мають похиле днище у бік висячого боку. За однакових геотехнологічних умов аналітичне моделювання впливу очисних камер на навколишній масив гірських порід проводили для глибини розробки 740...940 м. Збільшення глибини закладання очисних камер супроводжувалось збільшенням зони розвантаження і підвищенням напруженості масиву гірських порід оточуючих камери. Зміну радіальних напружень σ_r в межах зони розвантаження із збільшенням глибини ведення гірничих робіт наведена на рис. 2.

Область розтягуючих напружень розташована в породах висячого боку. При збільшенні глибини її розміри збільшуються від 53 до 70 м. Величина максимального розтягального напруження збільшується від 3,2 до 4,7 МПа або близько 1,7...2,5 γH . Форма ізоліній еліптична, яка збільшується в масштабі. Область розтягальних напружень розташована в породах висячого боку, рудному масиві і закладці, безпосередньо в покрівлі камер. При зростанні глибини її розміри збільшуються від 28 до 32 м. Величина максимального розтягального напруження зменшується від 2,4 до 1,8 МПа

Форма ізоліній – еліпсоїдна, яка плавно примикає до днища камери. Область розтягуючих напружень розташована в породах висячого боку і в рудному масиві у похилого днища очисної камери. Її розміри складають 65 м. Величина максимального розтягального напруження складає 5,5 МПа або близько 2,9 γH . Форма ізоліній – еліптична, яка плавно з'єднується з ізолініями в породах висячого боку.

або близько 1...1,3 γH . Форма ізоліній еліптична, перехідна з порід висячого боку в рудний масив і збільшується в масштабі. Область розтягальних напружень розташована в породах лежачого боку і в рудному масиві очисних камер. При збільшенні глибини її розміри збільшуються від 53 до 65 м. Величина максимального розтягального напруження збільшується від 5,7 до 8,5 МПа або близько 3...4,5 γH . Форма ізоліній – еліптична, що плавно з'єднується з ізолініями напружень в рудному масиві й ізолініями напружень порід висячого боку, які збільшуються в масштабі. Область розтягальних напружень розташована в породах висячого боку і в рудному масиві у похилого днища очисних камер. При збільшенні глибини її розміри зростають від 65 до 75 м. Величина максимального розтягального напруження зростає від 5,5 до 7,9 МПа або близько 2,9...4,2 γH . Форма ізоліній – еліптична, що плавно з'єднується з ізолініями в породах висячого боку і збільшується в масштабі.

Загальну картину збільшення напружено-деформованого стану масиву руди зі зростанням глибини закладання первинних очисних камер можна спостерігати по зміні максимальних радіальних напружень (рис. 3).

Виконаний аналіз значень напруженості, дозволив установити, що первинні очисні камери впливають на масив руди, яка знаходиться у вміщуючому масиві в 1,7-2 рази більше, ніж на породи лежачого і висячого боків. Основним чинником початкових даних буде об'ємна маса руди, яка перевищує об'ємну масу порід в 1,3-1,5 рази. Провівши апроксимацію максимальних значень за допомогою програми Microsoft Excel 2000, отримані емпіричні рівняння залежностей радіальних напружень від глибини закладання очисних камер H .

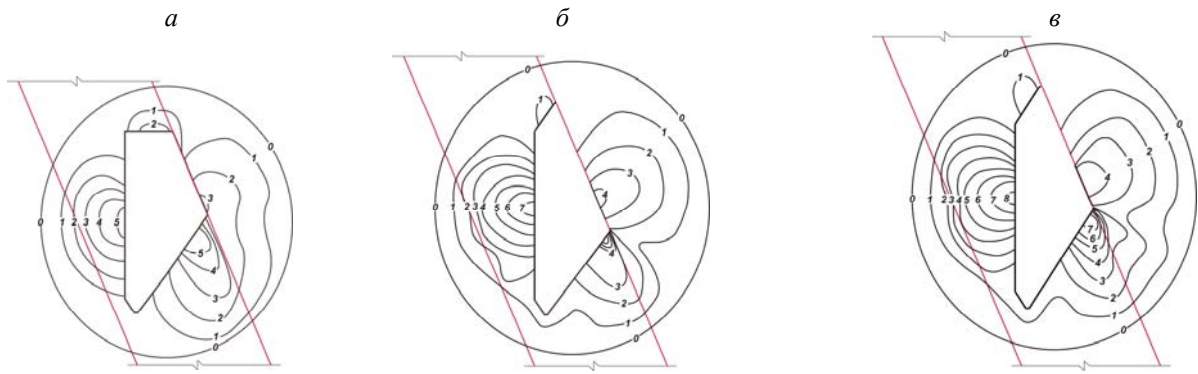


Рис. 2. Ізоліїні радіальних напружень σ_r в масиві, який оточує первинну очисну камеру при глибині закладання $H = 740$ м (а), 840 м (б) і 940 м (в), МПа

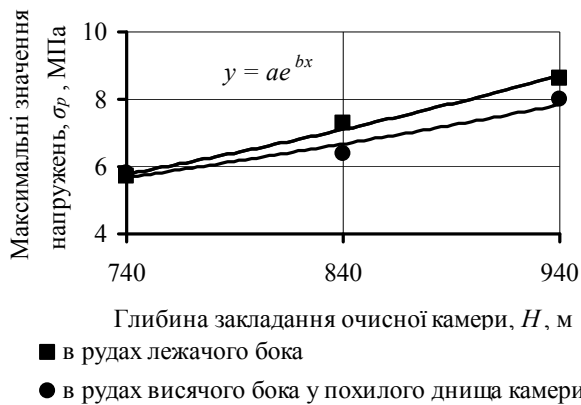


Рис. 3. Максимальні радіальні напруження σ_r для масиву руди в зоні розвантаження, що оточує первинну очисну камеру, МПа

Для масиву руди, який оточує первинну очисну камеру, емпіричні залежності мають вигляд:

– максимальні розтягальні напруження в рудах лежачого боку

$$\sigma_p = 1,262e^{0,0021H}, \text{ МПа, при } R = 98\%;$$

де R – вірогідність апроксимації, %; H – глибина закладання камер, м;

– максимальні розтягальні напруження у масиві руди похилого днища первинних очисних камер

$$\sigma_p = 1,726e^{0,0016H}, \text{ МПа, при } R = 95\%.$$

Висновки

Дослідження напружено-деформованого стану вмшуючого очисну камеру масиву дозволило виявити закономірності розвитку полів напружень в масиві зон розвантаження очисних камер; визначити залежності зміни рівня напруженості в основних областях зон розвантаження очисних камер на масиві руд, порід і закладки; встановити, що зміна тангенціальних напружень τ_p аналогічна радіальним σ_p при менших значеннях напружень. Окрім цього, виявлено експоненціальну залежність зміни напружень очисними камерами зі збільшенням глибини їх закладання.

Список літератури

1. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировоззрение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. – 1992. – № 12. – С. 23-28.
2. Лавриненко В.Ф., Лысак В.И. Физические процессы в массиве пород при нарушении равновесия // Изв. вузов. Горн. журн. – 1993. – № 1. – С. 1-6.

Выполнен анализ производственной ситуации по развитию горных работ при разработке Южно-Белозерского месторождения с помощью камерной системой разработки с закладкой. Проведенные аналитические исследования полей напряжений вокруг первичных очистных камер позволили установить области концентрации напряжений, которые располагаются в породах висячего и лежачего боков, в массиве руды и закладки. Выполнены исследования влияния глубины заложения очистных камер на вмещающий массив горных пород. Установлено, что увеличение глубины горных работ сопровождается увеличением зон разгрузки и повышением напряженности массива горных пород вокруг камер. Выявлены экспоненциальные зависимости изменения радиальных напряжений для массива руды.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние массива, камерная система разработки, зоны разгрузки.

It was completed analysis of the production situation for the development of mining at South-Belozersky field using the camera mining system with backfill. Analytical studies of stress fields around the primary treatment cells allowed to identify areas of stress concentration, which are located in the rocks of the hanging and lying laterally, in an array of ore and backfill. It was studied the effect of mining cameras inception depth for accommodating an array of rocks. Found that an increase in the depth of mining is accompanied by an increase in discharge zones and increased tension of the rock mass around the cameras. Revealed exponential dependences of the change of radial stresses for an array of ore.

Key words: stress-strain state of massif, chamber mining system, the discharge zones.

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.А. Ковалевською 19.03.10