

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ЗУБКО Сергій Андрійович

УДК 622.014.2

**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
СИСТЕМ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗНИХ РУД
У СЛАБКИХ ВМІЩУЮЧИХ ПОРОДАХ**

**Спеціальність: 05.15.02 – підземна розробка родовищ
корисних копалин**

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

БОНДАРЕНКО
Володимир
Ілліч

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України

РИМАРЧУК
Борис
Іванович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу механіки вибуху гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

ІЩЕНКО
Костянтин
Степанович

Захист відбудеться «13» червня 2014 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий «08» травня 2014 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03,
кандидат технічних наук, доцент

В.І. Тимошук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Головний показник конкурентності металургійної сировини – це вміст металу. 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 системи розробки.

Підвищення темпів розкриття й підготовки нових горизонтів для подальшого збільшення річної продуктивності понад 4,5 млн. т на рік є головним стримуючим фактором на ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат» (ЗАТ «ЗЗРК»). З метою інтенсифікації підготовчих і очисних робіт з горизонту 640 м у 2001 році Науково-дослідним гірничорудним інститутом Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» (НДГРІ ДВНЗ «КНУ») був впроваджений варіант поверхово-камерної системи розробки із закладанням, який має високе похиле днище. Для цього поклад поділяють на першу, другу і третю черги відпрацювання.

Похилі днища камер першої черги відпрацьовуються за допомогою камер третьої черги в умовах інтенсивного обвалення слабких порід висячого боку, що зростає з глибиною. Це призводить до збіднення руди та зростання значного економічного збитку за рахунок зниження ціни на низькосортну руду. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження геомеханічних процесів, які протікають в масиві гірських порід навколо камер останньої черги відпрацювання.

Дослідженням напружено-деформованого стану (НДС) масиву гірських порід навколо очисного простору камер та обґрунтуванням раціональних параметрів камерних систем розробки займалися В.І. Бондаренко, 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. Відсутність достатнього наукового обґрунтування параметрів очисних камер третьої черги відпрацювання, що знаходяться на контакті зі слабкими породами та подріблені і надріблені закладеними камерами, сприяє зниженню безпеки гірничих робіт, підвищенню збіднення і собівартості видобутку руди. Таким чином, обґрунтування раціональних параметрів систем розробки залізних руд у слабких вміщуючих породах має актуальне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі підземної розробки родовищ Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» і пов'язана з найважливішими державними програмами Міністерств промислової політики України, освіти і науки України в період 2010 – 2020 рр. Експериментальні дослідження за темою дисертації проводилися при виконанні госпдоговірних тем, у яких автор брав участь як виконавець, а саме: «Дослідження проявів гірського тиску і деформацій гірського масиву в результаті ведення очисної виїмки при відпрацюванні потужного крутоспадного покладу в поверхах 605 – 740 – 840 м в умовах Запорізького залізорудного комбінату» (№ ДР 0110U002388); «Дослідження на моделях з еквівалентних матеріалів процесів деформацій прилеглого до виробленого простору гірського масиву при різних порядках відпрацювання

очисних камер в умовах поверху 940 – 1040 м Південно-Білозерського родовища» (№ ДР 0111U001855); «Дослідження проявів гірського тиску при веденні очисної виймки в поверхах 605 – 740 – 840 м і закономірностей зміни напруженого стану приконтурного масиву на поляризаційно-оптичних моделях для геомеханічного обґрунтування параметрів і форм очисних камер нижче гор. 840 м в умовах Південно-Білозерського родовища» (№ ДР 0111U001856); «Дослідження процесів деформацій прилеглого до виробленого простору гірського масиву на моделях з еквівалентних матеріалів при відпрацюванні міжкамерних ціликів заввишки у два поверхи між закладеними камерами у відмітках 640 – 840 м в умовах Запорізького ЗРК» (№ ДР 0112U002512); «Дослідження напруг приконтурного масиву поляризаційно-оптичним методом при відпрацюванні цілика заввишки у два поверхи між закладеними камерами у відмітках 640 – 840 м в умовах Південно-Білозерського родовища. Шахтні спостереження та вимірювання деформацій приконтурного масиву при веденні очисних робіт в поверхах 605-740-840 м» (№ ДР 0112U002513).

Мета роботи та задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування раціональних параметрів системи розробки залізних руд з урахуванням зміни концентрації напружень масиву гірських порід навколо очисних камер.

Для досягнення поставленої мети сформульовані і вирішені наступні задачі:

1. Виконати аналіз науково-дослідних робіт у галузі ефективного використання камерних систем розробки при видобутку залізних руд із закладкою.

2. Встановити вплив гірського тиску і параметрів камерних систем розробки із закладкою на масив гірських порід.

3. Виявити закономірності зміни концентрацій напружень у масиві навколо очисних камер.

4. Обґрунтувати раціональні параметри системи розробки в умовах нестійких порід всячого боку покладу.

5. Визначити економічну ефективність впровадження технологічних рішень при видобуванні руди на шахтах ЗАТ «ЗРК».

Об'єктом досліджень є технологічні процеси видобутку руди за допомогою камерних систем розробки із закладкою.

Предметом досліджень є закономірності зміни концентрацій напружень у масиві навколо камер, які визначають параметри систем розробки.

Ідея роботи полягає у використанні ефекту знеміцнення масиву порід навколо камер шляхом встановлення закономірностей зміни концентрацій напружень, що дозволяють визначити раціональні параметри систем розробки.

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувалися комплексним методом, що включає аналіз умов залягання родовища і відпрацювання запасів за допомогою камерних систем розробки із закладанням виробленого простору, а також лабораторні та натурні дослідження стану порід навколо очисних камер. Лабораторні дослідження виконувалися за допомогою методів фізичного моделювання на еквівалентних та оптико-поляризаційних матеріалах, натурні дослідження – методами інструментальних вимірів.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Величини деформацій масиву, що розвиваються у похилому днищі

очисних камер і породах всячого боку покладу, зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт зростають за експонентною залежністю, що дозволяє на цій основі мінімізувати розміри області тріщиноутворення та зміщення порід всячого боку покладу у напрямку очисного простору.

2. Збільшення глибини ведення гірничих робіт і зменшення відстані від камери у бік порід всячого боку призводить до зростання коефіцієнту концентрації напружень у масиві руди, який змінюється за експонентною залежністю, що дозволяє обґрунтувати ширину очисної камери на контакті зі слабкими породами всячого боку.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується застосуванням апробованих методів досліджень, задовільною збіжністю результатів моделювання напружено-деформованого стану з промисловими дослідженнями в шахтних умовах на рівні 93%.

Наукове значення дисертації полягає у встановленні залежностей зміни величин концентрацій напружень масиву гірських порід навколо очисних камер, які змінюються зі збільшенням глибини гірничих робіт і віддаленні від контуру камер у бік порід всячого боку, що дозволяють визначити параметри камерних систем розробки із закладанням.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Встановлено, що при відпрацюванні очисних камер на глибинах більше 800 м зі сторони порід лежачого боку покладу напруження в покрівлі сягають $0,4\gamma H$ і збільшуються до $0,8\gamma H$ у днищі камери;

2. Напруження слабких вміщуючих порід всячого боку знижуються в 3 рази шляхом залишення рудного цілика, рівного $0,5$ ширини камери лежачого боку покладу;

3. Встановлено експонентні залежності зміни величини деформації масиву в слабких вміщуючих породах зі збільшенням глибини ведення гірничих робіт;

4. Встановлено експонентні залежності зміни коефіцієнта концентрації напружень зі збільшенням глибини проведення гірничих робіт і віддаленні від контуру камери у бік порід всячого боку.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Удосконалена існуюча методика визначення параметрів камерних систем розробки із закладанням за рахунок уточнення коефіцієнта концентрації напружень при відпрацюванні камер у слабких вміщуючих породах;

2. Удосконалено технологію відпрацювання камер всячого боку покладу в слабких вміщуючих породах, що дозволяє зменшити величину деформацій масиву гірських порід навколо камер і знизити збіднення руди.

Реалізація результатів роботи. Методика з визначення параметрів камерних систем розробки із закладанням впроваджена на шахті «Експлуатаційна» ЗАТ «ЗЗРК», що дозволило отримати економічний ефект у розмірі 3,465 млн. грн.

Особистий внесок автора полягає у формуванні мети і задач дослідження, виборі методів та розробці методик проведення лабораторних і натурних досліджень, обробці отриманих результатів і формулюванні наукових положень, апробації та впровадженні технологічних рішень в умовах діючої шахти.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: «Школа підземної розробки» (2007, 2013 Ялта); «Геомеханічні аспекти та екологічні наслідки відпрацювання рудних покладів» (2012, Кривий Ріг); «VII міжнародна конференція з вибухової справи» (2013, Москва), «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (2013, Дніпропетровськ).

Публікації. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 роботах, з них 6 статей у фахових виданнях, 4 тез доповідей у матеріалах конференцій та 2 патенти на винаходи.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 109 найменувань і додатку. Загальний обсяг – 144 сторінки, у тому числі 48 рисунків, 9 таблиць і 1 додаток на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність вибраної теми, сформульовані мета та задачі досліджень, наведені наукові положення, що виносяться на захист, наукове та практичне значення роботи, а також дані щодо впровадження і публікації результатів досліджень.

У першому розділі «Стан питання, мета та задачі дослідження» для вирішення 1-ї задачі дослідження розглянуті питання освоєння крутоспадних рудних родовищ камерними системами розробки та їх параметрів, дослідження яких виконувалися науковцями інститутів і проектних організацій, а також інженерно-технічними працівниками гірничорудних підприємств України та ближнього зарубіжжя. Питаннями досліджень напружено-деформованого стану масиву гірських порід навколо очисного простору камер і обґрунтуванням раціональних параметрів камерних систем розробки присвячені роботи В.І. Бондаренка, С.Г. Борисенка, Ю.П. Капленка, М.М. Кононенка, О.М. Кузьменка, В.Ф. Лавриненка, В.С. Нігматуліна, В.Ю. Усатого, М.І. Ступніка, Г.Т. Фаустова, О.Є. Хоменка, В.В. Цариковського, Є.П. Чистякова та інших.

Аналіз наукових джерел дозволив встановити, що широко застосовуваний порядок відпрацювання за падінням крутоспадних покладів камерними системами розробки без підтримки порід висячого боку обумовлює необхідність оцінки впливу очисних камер на область підготовчих і очисних робіт, що розташовується під виробленим простором. Вплив виробленого простору на масив гірських порід, розташований у висячому і лежачому боках, а також на флангах покладів достатньою мірою не вивчено. Застосовувані технологічні схеми відпрацювання крутоспадних покладів і їх параметри залежать від величини і характеру розподілу граничних навантажень у масиві, обумовлених рівнем напруженого стану масиву, вагою підроблених і обвалених у вироблений простір порід, впливом очисних, нарізних і підготовчих робіт. Відсутність комплексного дослідження цих параметрів не дозволяє досить точно визначити вплив виробленого простору на породи висячого боку в умовах Південно-Білозерського родовища.

Аналіз геологічної характеристики порід висячого боку покладу дозволив встановити, що із збільшенням глибини гірничих робіт зона поширення кварц-

серицит-хлоритових сланців, безпосередньо на контакт з рудним покладом збільшується з 60 м на горизонті 340 м (в маркшейдерських осях 17ю – 19ю) до 500 м на горизонті 840 м (від осі 4с до південної межі покладу). Результати натурних досліджень свідчать, що однією з основних причин порушень контурів камер (обвалення) є нестійкі породи висячого боку. Так, при відпрацюванні поверхів 480 – 580 м і 548 – 640 м, протягом усього шахтного поля з півночі на південь, у 62 камерах зафіксовані порушення контурів очисного простору, з яких 37 (60 %) розташовувалися в зоні контакту з вищевказаними сланцями. З відпрацьованих у поверхах від горизонту 340 м до горизонту 640 м обвалення порід понад 5 тис. м³ відзначені в 40 камерах, 32 (80 %) з яких розташовані в зоні примикання кварц-серицит-хлоритових сланців до висячого боку покладу.

Поверхи 605 – 740 м і 715 – 840 м відпрацьовані не повністю, але характерна закономірність і основні причини розташування камер з порушеннями контурів зберігаються. Така закономірність, ймовірно, буде простежуватися і при відпрацюванні поверхів нижче горизонту 840 м, тому виникає задача запобігання обваленню порід висячого боку в зоні примикання до рудного покладу.

Виконаний аналіз наукових-технічних і проектно-конструкторських джерел та технології відпрацювання запасів залізних руд камерною системою розробки із закладанням шахтами ЗАТ «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 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.

У другому розділі «Дослідження геомеханічних процесів при відпрацюванні потужних рудних покладів камерними системами розробки із закладанням виробленого простору» встановлено, що при веденні очисних робіт у поверхах 605 – 740, 715 – 840 м зона деформацій масиву гірських порід постійно збільшується за простяганням рудного покладу. Глибинними реперами, ультразвуковим каротажем і сейсмічним просвічуванням визначені зони інтенсивного і загального впливу очисних камер. Аналіз характеру та форм проявів гірського тиску дозволив встановити, що порушення контурів очисного простору відбувається в камерах, розташованих біля висячого боку рудного покладу на контакт з слабкими вміщуючими породами. Камери лежачого боку покладу розташовуються у зоні зниженого напруженого стану завдяки захисному ефекту закладки вище розташованих відпрацьованих і закладених камер, в результаті чого їх конструктивні елементи, перебуваючи в зоні знижених напружень, зберігають стійкість.

Для вирішення **2-ї і 3-ї задач** дослідження розроблені методики фізичного моделювання на еквівалентних і оптико-поляризаційних матеріалах. 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 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 моделі камери лежачого боку, закладка камери лежачого боку і відпрацювання моделі камери біля висячого боку. При моделюванні відпрацювання камери лежачого боку і її закладання деформації моделі камери не було зафіксовано. Моделювання відпрацювання моделі камери у висячому боці подано на рис. 1.

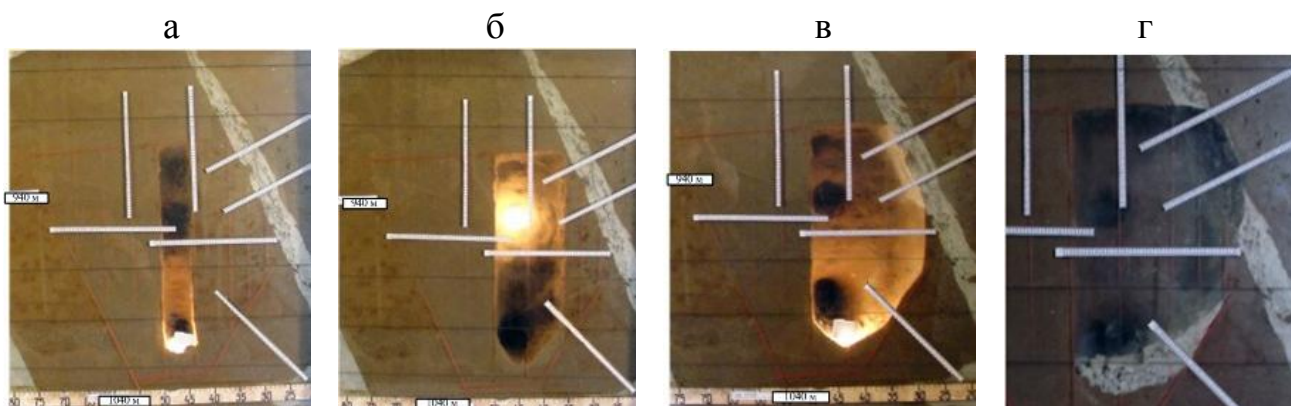


Рис. 1. Моделювання відпрацювання камери у висячому боці поверху 940 – 1040 м за етапами її відпрацювання: а – утворення відрізної щілини; б – відпрацювання 50% запасів руди; в – відпрацювання 85% запасів руди; г – відпрацювання 100% запасів руди

При моделюванні відпрацювання 100% запасів камери, розташованої біля висячого боку (рис. 1) в місці сполучення висячого боку камери з похилим днищем (область підвищених концентрацій напружень) сталося деформування моделі. Відслонення моделі висячого боку при цьому досягло 0,173 м, що відповідає 43,25 м в натурі. У похилому рудному днищі моделі камери на даному етапі зафіксовано розвиток області тріщиноутворення у напрямку паралельному площині днища з кроком 0,08 м за індикаторною лінійкою, що відповідає 2 м в натурі. Дослідження поведінки масиву моделі 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:

- для масиву порід висячого боку

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

де H – глибина закладання камери, м;

R – вірогідність апроксимації.

- для масиву руди в похилому днищі камери

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

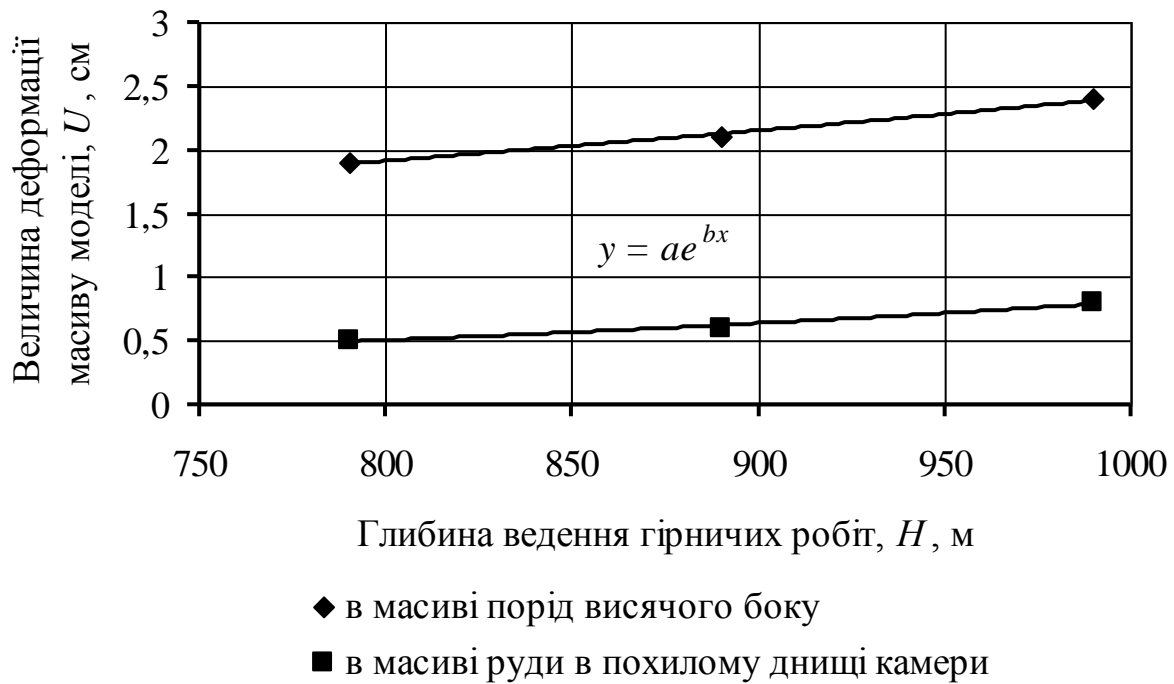


Рис. 2. Величина деформації масиву моделі від глибини ведення гірничих робіт

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

Для дослідження розподілу напружень у нижньому поверсі до початку його відпрацювання відтворена вся попередня історія відпрацювання та закладки камер вище розташованих поверхів з дотриманням геометричної подібності. Потім для імітації відпрацювання за схемою камера-цілик було 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.

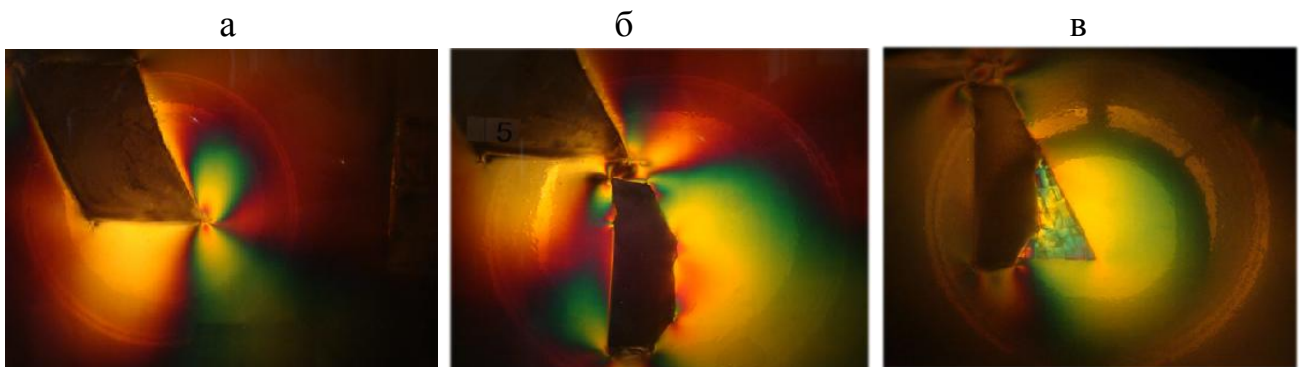


Рис. 3. Ізохромні до початку відпрацювання камери шириною 30 м (а) і після відпрацювання (б) камери висячого боку поверху 740 – 840 м, та камери шириною 15 м (в)

Після обробки результатів дослідження були встановлені ізокліни та ізостати, що подані на рис. 4. 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 вміщуючих породах напруження перевищують допустимі. З 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.

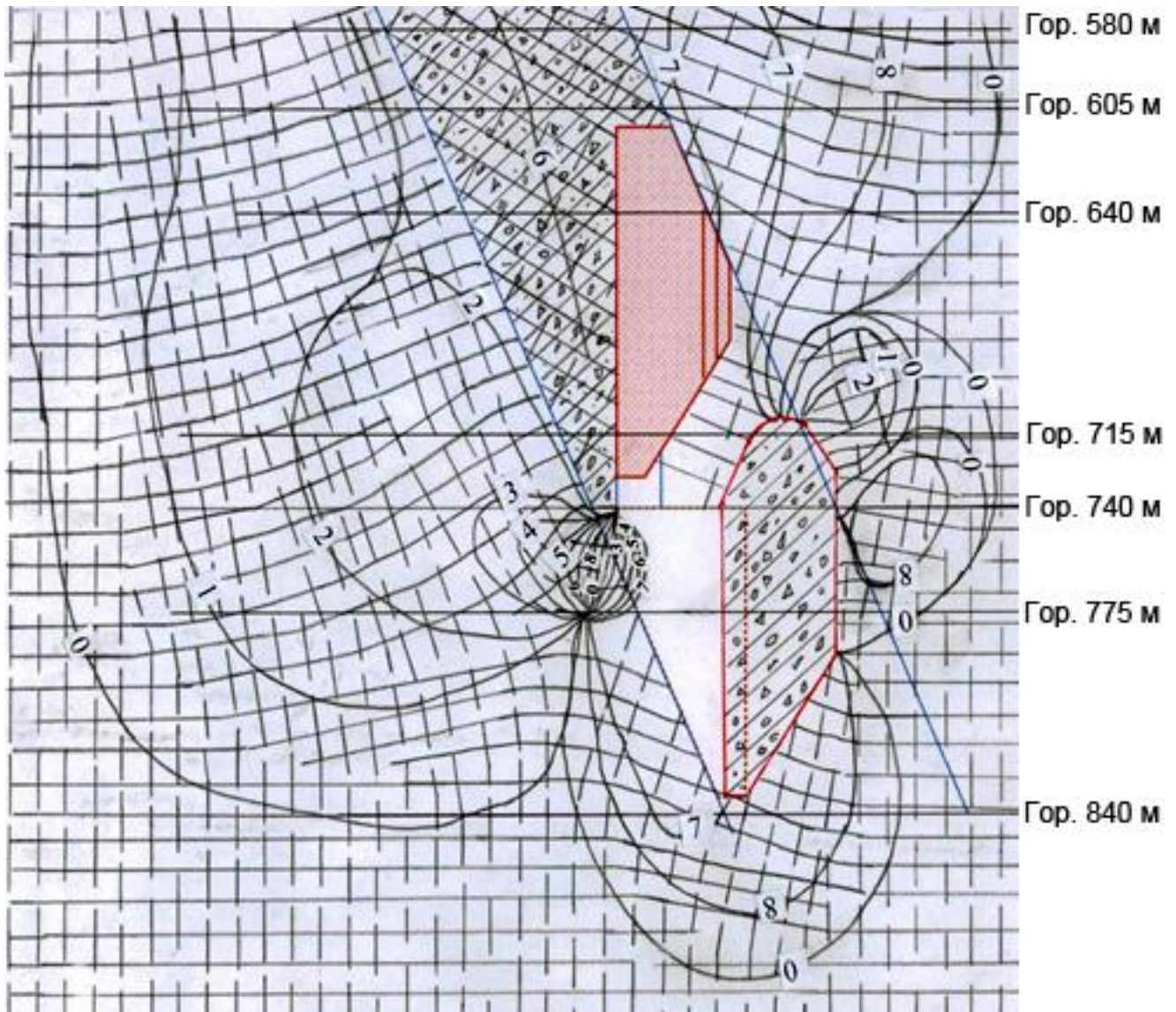


Рис. 4. Ізокліни та ізостати навколо моделі

За результатами моделювання відпрацювання камер поверхів 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. 5.

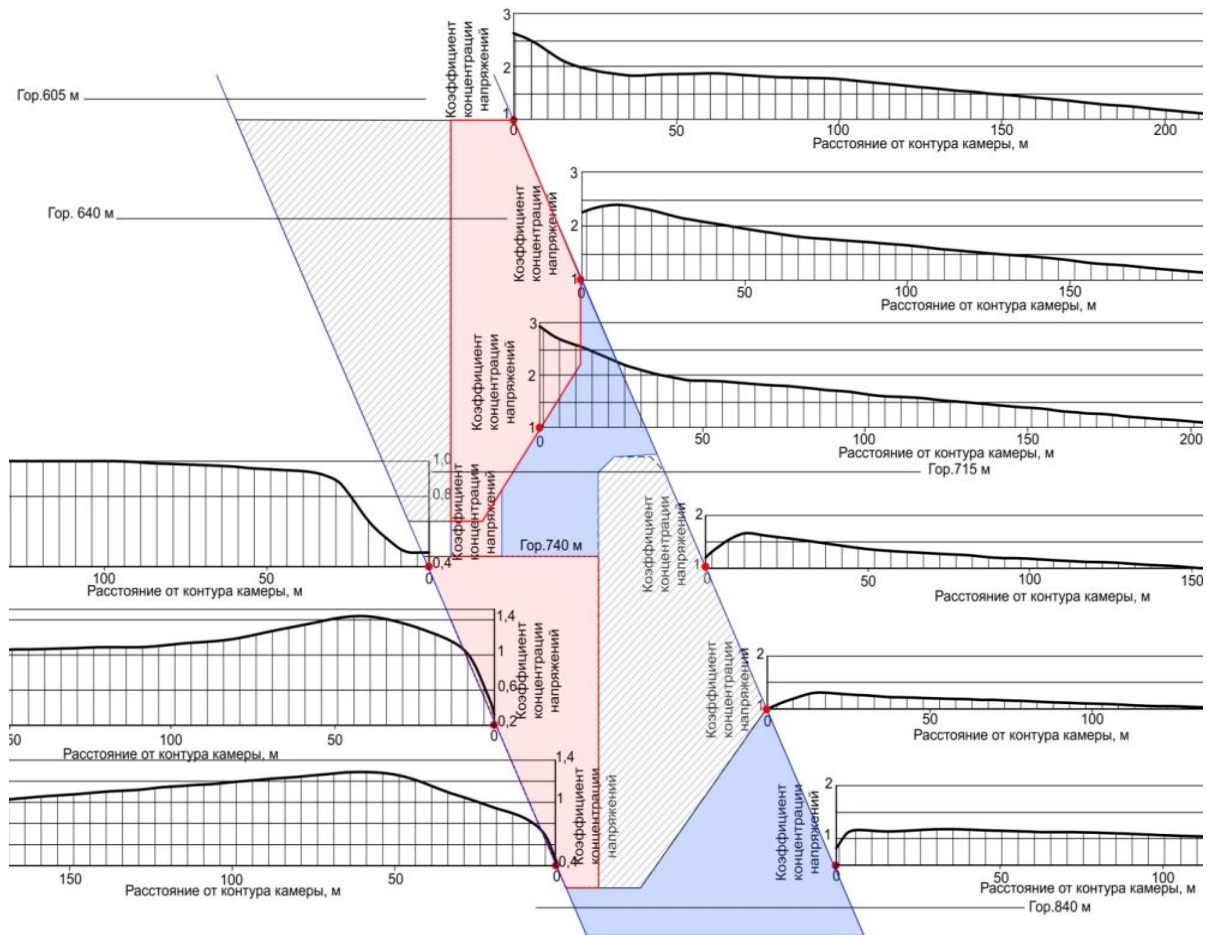


Рис. 5. Епюри коефіцієнтів концентрації максимальних напружень навколо камер поверху 605 – 740 м і 715 – 840 м при їх спільному відпрацюванні

Подальші дослідження дозволили отримати графік залежності коефіцієнту концентрації напружень від збільшення глибини ведення гірничих робіт (рис. 6) та збільшення відстані від камери у напрямку порід висячого боку (рис. 7).

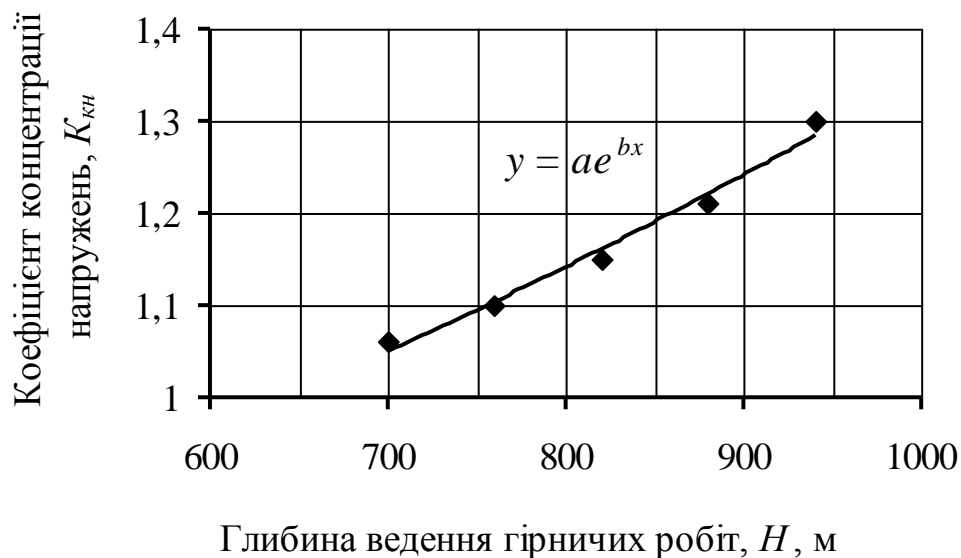


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнта концентрації напружень $K_{кн}$ від глибини ведення гірничих робіт H

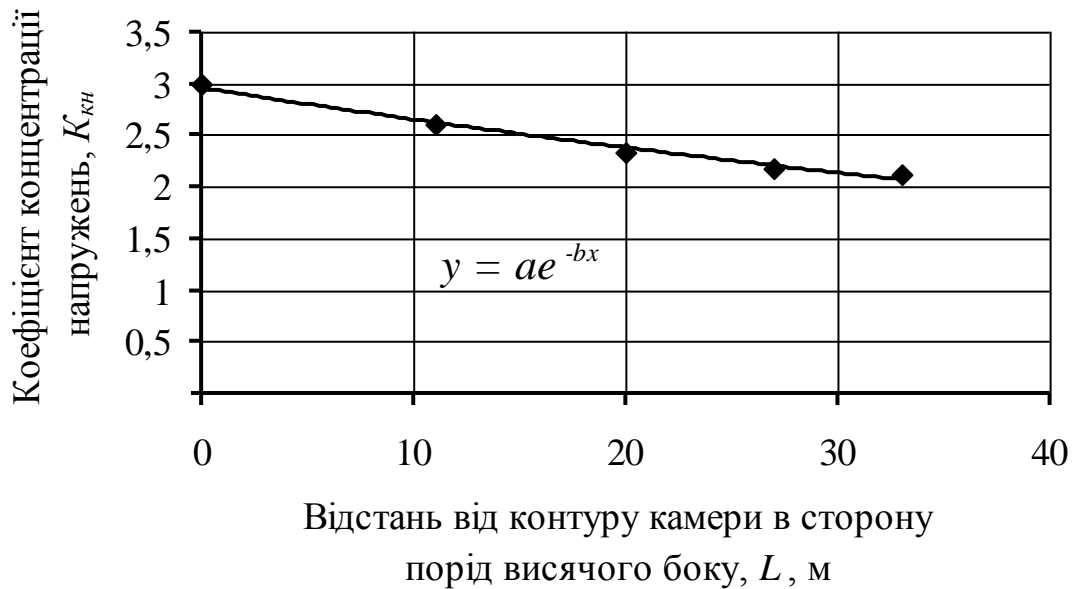


Рис. 7. Графік залежності коефіцієнта концентрації напружень $K_{кн}$ від відстані від камери в сторону порід висячого боку L

Провівши апроксимацію за допомогою програми Microsoft Excel, отримано емпіричне рівняння залежності коефіцієнта концентрації напружень $K_{кн}$ від глибини ведення гірничих робіт H :

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

Подальші дослідження дозволили отримати емпіричне рівняння залежності коефіцієнта концентрації напружень $K_{кн}$ від відстані від камери у напрямку порід висячого боку L :

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

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 камер висячого боку покладу в слабких вміщуючих породах.

У третьому розділі «Обґрунтування параметрів технології відпрацювання залізних руд» удосконалено методику визначення параметрів систем розробки із закладкою і розраховано параметри камер при відпрацюванні запасів руди у похилому днищі камер поверху 715 – 840 м.

Удосконалення методики визначення параметрів систем розробки із закладкою, яка розроблена Науково-дослідним гірничорудним інститутом Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет» (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.

Розрахунок параметрів камери:

1. Припустимий еквівалентний проліт камери вхрест простягання покладу

$$L_{b1} = \pi^2 \sqrt[3]{3f_p} \sqrt{\frac{R_p}{K_{кн} \cdot \gamma \cdot H_{cp}}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де f_p – коефіцієнт міцності руди;

R_p – міцність гірських порід і штучного масиву від їх міцності:

- при $f \leq 7$

$$R_p = 1000 \cdot f, \text{ т/м}^2; \quad (6)$$

- при $f > 7$

$$R_p = 3000 \cdot (f + 5 - \sqrt{10 \cdot f + 25}), \text{ т/м}^2; \quad (7)$$

$K_{кн}$ – 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:

$$K_{кн} = 1,79e^{(0,0009H - 0,01L)}; \quad (8)$$

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)

$$B = \frac{L_{b1} \cdot h_{к}}{\sqrt{h_{к}^2 - L_{b1}^2}}, \text{ м}, \quad (9)$$

де $h_{к}$ – висота камери, м.

3. Допустимий еквівалентний проліт камери за простяганням

$$L_{b2} = \frac{\pi^2}{\pi - 2\sin\beta} \cdot \sqrt{\frac{R_p}{K_{кн} \cdot \gamma \cdot H_{cp}}}, \text{ м}, \quad (10)$$

де β – кут падіння порід висячого боку, град.

4. Розмір камери за простяганням (ширина камери)

$$A = \frac{L_{b2} \cdot h_{к}}{\sqrt{h_{к}^2 - L_{b2}^2}}, \text{ м}. \quad (11)$$

За результатами розрахунку параметрів системи розробки у похилому днищі камери поблизу із слабкими породами висячого боку поверху 715 – 840 м згідно удосконаленої методики 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.

У четвертому розділі «Технологія відпрацювання залізних руд в слабких вміщуючих породах» подано результати натурних досліджень проявів гірського тиску експериментальної камери 4/7ю горизонту 715 – 840 м, параметри якої розраховані за допомогою удосконаленої методики, а також подані розрахунки економічної ефективності впровадження технологічних рішень.

Для вирішення **4-ї задачі** дослідження була виділена експериментальна ділянка шахтного поля - камера 4/7ю горизонту 715 – 840 м з шириною 15 м розрахованою з уточненим коефіцієнтом концентрації напружень (рис. 8).

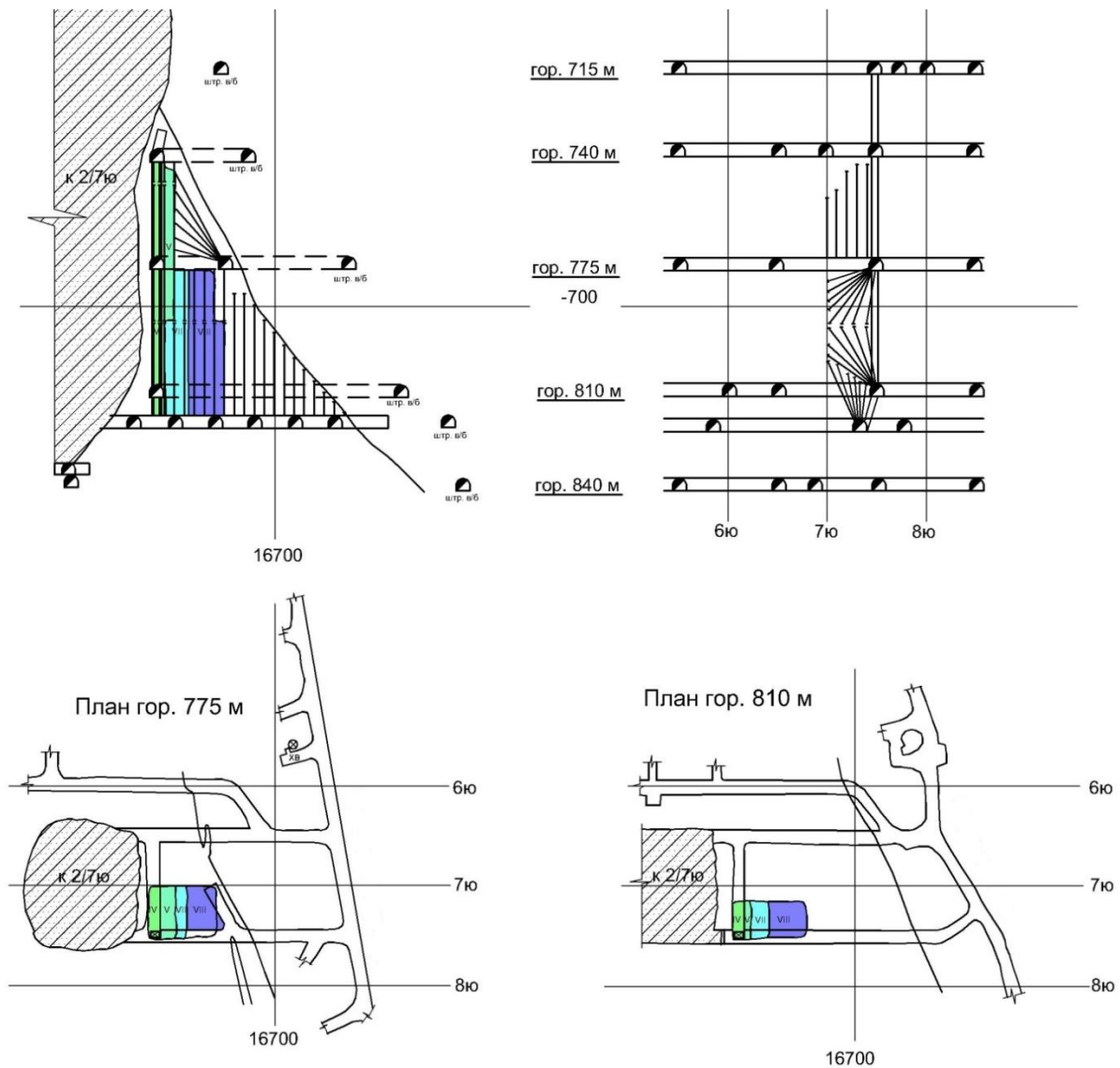


Рис. 8. Етапи відпрацювання експериментальної ділянки камери 4/7ю горизонту 715 – 840 м

У районі відпрацювання експериментальної ділянки протягом всього циклу відпрацювання був виконаний геофізичний контроль. 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 вивалів і обвалень по штрекам висячого боку не встановлено, величини зміщень не перевищують допустимих 0,05 м. Виконані дослідження дозволили встановити, що з пониженням рівня очисних робіт забезпечення стійкості висячого боку є актуальною задачею, що вимагає конкретних технічних рішень, одним з яких є відпрацювання частини рудного тіла у висячому боці в останню чергу камерами зменшених розмірів. У випадку, коли вмішуючі породи висячого боку, які представлені сланцями низької стійкості, розташовані безпосередньо на контакті з рудою, відпрацювання камер рекомендується вести з залишенням рудних ціликів.

Вирішення **5-ї задачі** виконано за допомогою економічної оцінки запропонованих технологічних рішень. Економічна ефективність від впровадження запропонованих заходів свідчить про доцільність розроблених технологічних рішень. Застосування на ЗАТ «ЗЗРК» вдосконаленої технології відпрацювання камер всіячого боку покладу в слабких вміщуючих породах шляхом обґрунтування раціональних параметрів системи розробки, зменшення обсягу підготовчих робіт, підвищення якості продукції дозволило отримати економічний ефект у розмірі 3,465 млн. грн на одну виїмкову одиницю.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі встановлених закономірностей зміни концентрації напружень масиву гірських порід навколо очисних камер, вирішена актуальна науково-практична задача з обґрунтування раціональних параметрів систем розробки залізних руд у слабких вміщуючих породах.

У ході виконання роботи отримані наступні результати:

1. За допомогою поляризаційно-оптичного моделювання, моделей з еквівалентних матеріалів і натурних спостережень встановлені закономірності прояву гірського тиску навколо очисних камер в породах всіячого боку і в масиві руди у похилому днищі камер.

Встановлено що:

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

- збільшення глибини ведення гірничих робіт і зменшення відстані від камери у бік порід всіячого боку призводить до зростання коефіцієнту концентрації напружень у масиві руди, який змінюється за експонентною залежністю, що дозволяє обґрунтувати ширину очисної камери на контакті зі слабкими породами всіячого боку.

2. Встановлені закономірності прояву гірського тиску в масиві гірських порід поблизу очисних камер дозволяють удосконалити методика розрахунку параметрів очисного простору камер шляхом уточнення коефіцієнта $K_{кн}$ для камер, розташованих у всіячому боці покладу безпосередньо на контакті зі слабкими вміщуючими породами.

3. Обґрунтовано раціональні параметри системи розробки в зонах впливу слабких вміщуючих порід. Врахування впливу цих факторів дозволяє зберегти прийнятні параметри камер лежачого боку, потребує зменшення параметрів камер, розташованих у всіячого боку покладу.

4. Запропоновано удосконалену технологію відпрацювання камер всіячого боку покладу в слабких вміщуючих породах шляхом зменшення обсягу підготовчих робіт, вторинного подрібнення, ремонтно-відновлювальних робіт, підвищення якості продукції.

5. Досягнуто економічну ефективність розробленого технологічного рішення при відпрацюванні частини рудного покладу у висячого боку в поверсі 715 – 840 м на шахті «Експлуатаційна» ЗАТ «ЗЗРК». Економічний ефект від впровадження запропонованих заходів склав 3,465 млн. грн. на одну виїмкову одиницю.

Основні положення і результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Зубко С.А. Применение имитационного моделирования для проектирования горных работ подземных рудников / В.И. Бондаренко, В.В. Русских, С.А. Зубко // Научно-технический сборник. “Разработка рудных месторождений”. – Кр.Р.: - 2010. – вып. 93. С. 252-256.

2. Зубко С.А. Развитие технологии добычи и принятие новых технических решений при отработке рудных залежей в сложных горно-геологических условиях Южно-Белозерского месторождения / В.В. Русских, В.В. Лапко, С.А. Зубко // Науковий вісник НГУ. – 2012. – №5. – С. 34-38.

3. Зубко С.А. Внедрение смесительно-зарядной и доставочной техники для эмульсионного взрывчатого вещества “Украинит” на горнодобывающих предприятиях Украины / В.В. Русских, А.В. Яворский, Е.А. Яворская, С.А. Зубко // Геотехнічна механіка. Міжвідомчий збірник наукових праць. Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Випуск 111. – 2013 р. - С. 36-47.

4. Зубко С.А. Проектирование очистных работ на ЗАО “Запорожский железорудный комбинат” с применением имитационного моделирования / В.И. Бондаренко, В.В. Русских, С.А. Зубко // Горный журнал – Черные металлы. - М.: Вся полиграфия. – 2010. (Спец. выпуск) – С. 67-70.

5. Zubko S. Investigation of the geomechanical processes while mining thick ore deposits by room systems with backfill of worked-out area / V. Russkikh, Ye. Chistyakov, S. Zubko // “Geomechanical processes during underground mining”. - CRC Press / Balkema Taylor & Francis Group, London, UK. - 2012. - P. 127-132.

6. Zubko S. Study of rock geomechanical processes while mining two-level interchamber pillars / V. Russkikh, A. Yavors'kyu, Ye. Chistyakov, S. Zubko // “Mining of mineral deposits”. - CRC Press / Balkema Taylor & Francis Group, London, UK. - 2013. - P. 149-152.

7. Пат. на винахід № 90977 Україна МПК E21D 11/00, E21C 41/00. Спосіб збійки сліпого стовбура із земною поверхнею у затампованих породах / Спичак Ю.М., Фурман О.І., Зубко А.М., Зубко С.А.; заявник і патентовласник – Спичак Ю.М., Фурман О.І., Зубко А.М., Зубко С.А. - № а200904484; заявл. 06.05.2009; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.

8. Пат. на винахід № 93739 Україна МПК E21D 1/00, E21D 11/38. Спосіб тампонажу водоносних порід навколо вертикального стовбура, що з`єднують з нижче пройденим сліпим стовбуром / Спичак Ю.М., Фурман О.І., Зубко А.М., Зубко С.А.; заявник і патентовласник - Спичак Ю.М., Фурман О.І., Зубко А.М., Зубко С.А. - № а200904105; заявл. 27.04.2009; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.

9. Зубко С.А. Обоснование рациональных параметров технологии буровзрывных работ при добыче железных руд подземным способом / С.А. Зубко, М.Н. Кононенко // Материалы междунар. научн.-практ. конф. “Школа подземной разработки”. – Д.: Арт-Пресс. – 2007. – С. 302-306.

10. Зубко С.А. Геомеханика и практика применения систем разработки с закладкой выработанного пространства на рудниках Украины / Е.П. Чистяков, С.А. Кулиш, С.А. Зубко // Материалы II междунар. научн.-практ. конф. “Геомех. аспекты и экологические последствия отработки рудных залежей”. – Кр.Р.: КНУ. – 2012. – С. 151-152.

11. Zubko S. Experience of implementation of mix-pump and hauling units for “UKRAINIT” emulsion explosives in Ukraine / V. Nebogin, E. Onoprienko, S. Zubko // Materials of the VIIth World conference on explosives and blasting. Part 1. – Moscow. – 2013. – P. 39-44.

12. Зубко С.А. Исследование геомеханических процессов при отработке междукламерных целиков высотой в два этажа / В.В. Русских, С.А. Зубко, И.А. Карапа, А.В. Яворский // Научно-технический сборник. “Разработка месторождений”. – Д.: “ЛизуновПресс”. -2013. – С. 247-254.

Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві полягає у наступному: [1, 2, 4] – виробничий аналіз досвіду використання програмного забезпечення, проведення імітаційного моделювання; [3, 11] – виробничий аналіз використання емульсійних вибухових речовин на гірничодобувних підприємствах; [5, 6, 12] – проведення лабораторних та натурних досліджень, обробка результатів; [7, 8] – технічна ідея, формули винаходу, узагальнення результатів; [9, 10] – узагальнення досвіду відпрацювання рудних покладів у складних гірничо-геологічних умовах.

АНОТАЦІЯ

Зубко С.А. Обґрунтування раціональних параметрів систем розробки залізних руд у слабких вміщуючих породах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин. Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2014.

Дисертація присвячена питанням обґрунтування раціональних параметрів систем розробки залізних руд у слабких вміщуючих породах для гірничо-геологічних умов Південно-Білозерського родовища. В результаті фізичного моделювання і промислових досліджень запропоновані технологічні рішення щодо відпрацювання камер висячого боку покладу в слабких вміщуючих породах. Обґрунтовано раціональні параметри системи розробки в зонах впливу слабких вміщуючих порід, що дозволяє зберегти прийнятні параметри камер лежачого боку і потребує зменшення параметрів камер, розташованих біля висячого боку покладу. Наведені технологічні рішення раціоналізації параметрів камер висячого боку покладу в слабких вміщуючих породах, що впроваджені при видобуванні залізної руди на шахті «Експлуатаційна» ЗАТ «ЗЗРК». Економічний ефект склав близько 3,465 млн. грн. на одну виїмкову одиницю.

Ключові слова: залізна руда, масив гірських порід, напружено-деформований стан, слабкі вміщуючі породи, камера висячого боку, система розробки.

АННОТАЦИЯ

Зубко С.А. Обоснование рациональных параметров систем разработки железных руд в слабых вмещающих породах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2014.

Диссертация посвящена вопросам обоснования рациональных параметров систем разработки железных руд в слабых вмещающих породах для горно-геологических условий Южно-Белозерского месторождения. В результате физического моделирования на эквивалентных материалах, оптико-поляризационных моделях и промышленных исследований предложены технологические решения отработки камер всячего бока залежи в слабых вмещающих породах. Обоснованы рациональные параметры системы разработки в зонах влияния слабых вмещающих пород, что позволяет сохранить принятые параметры камер лежачего бока, уменьшить ширину камер расположенных у всячего бока залежи в наклонном днище в 2 раза. Лабораторные и промышленные исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в окрестности очистных камер проводились при изменении глубины заложения камер и различных физико-механических свойствах вмещающих пород. Закономерности проявления горного давления вокруг очистных камер определялись в породах всячего бока и в массиве руды в наклонном днище камеры.

Анализ характера и форм проявлений горного давления позволили установить, что нарушения контуров очистного пространства происходят, в основном, в камерах, расположенных у всячего бока рудной залежи. Камеры лежачего бока залежи располагаются в зоне сниженного напряженного состояния благодаря защитному эффекту закладки вышерасположенных заложённых камер, в результате чего их конструктивные элементы сохраняют свою устойчивость. Основным влияющим фактором обрушения контуров очистного пространства в выемочных камерах пород всячего бока является наличие непосредственно на контакте с рудным телом в всячем боку кварц-серицит-хлоритовых сланцев средней и низкой устойчивости.

Установлено, что интенсивность напряжений в целиках при равной ширине камер и целиков соответственно 15 и 15 м, 30 и 30 м одинакова, устойчивость целиков при равной крепости руд определяется коэффициентом формы. На участках перехода на отработку камерами шириной 15 м напряжения в пятнадцатиметровых целиках, смежных с камерами шириной 30 м, на 15 – 20% выше, чем при сплошной отработке камер и междукamerных целиков равной ширины. При отработке по схеме «камера – 2 целика» зоны взаимного влияния камер соприкасаются, напряжения в поперечном сечении целика достигают максимума у стенок и минимума в центре. При отработке по схеме «камера – целик» напряжения в целике распределяются равномерно, и не превосходят максимума интенсивности напряжений в стенках камер, обрабатываемых по

схеме «камера – 2 целика». В междукамерных целиках (наклонных днищах) независимо от формы камер коэффициент концентрации напряжений у висячего бока равен 2,5 – 3, который изменяется по экспоненциальной зависимости с удалением от камеры в сторону пород висячего бока и увеличением глубины горных работ. Предложенные параметры камер, которые расположены в слабых вмещающих породах, зависят от величины коэффициента концентрации напряжений. По результатам натурных исследований звукометрическим методом установлено, что предложенные параметры камер являются устойчивыми к проявлению форм горного давления.

Высокая сходимость лабораторных исследований была подтверждена результатами промышленных измерений при добыче железной руды из камеры 4/7 ю в этаже 715 – 840 м на шахте «Эксплуатационная» ЗАО «ЗЖРК». Предложенные технологические решения по рационализации параметров системы разработки в слабых вмещающих породах внедрены на шахте «Эксплуатационная» ЗАО «ЗЖРК». Экономический эффект составил 3,465 млн. грн. на одну выемочную единицу.

Ключевые слова: железная руда, массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, слабые вмещающие породы, камера висячего бока, система разработки.

ABSTRACT

Zubko S.A. Substantiation the rational parameters of iron ore mining methods in weak host rocks. – Manuscript.

Thesis for a Degree of Candidate of technical sciences, specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovs’k, 2014.

The thesis is dedicated to the questions of substantiation the rational parameters of iron ore mining methods in weak host rocks for mining-geological conditions of Pivdenno-Bilozerske deposit. As a result of physical modeling and industrial studies the technological solutions for working-out of the deposit’s hanging wall chambers in weak host rocks are proposed. Rational parameters of mining methods in the influence zones of weak host rocks are substantiated that allows to keep adopted parameters of footwall chambers and requires the decrease of chambers parameters located near the deposit hanging wall. New solutions of parameters rationalization of hanging wall chambers in weak host rocks that are introduced during iron ore recovery on “Ekspluatatsiyna” mine of CJSC “ZZRK”. The economic effect made up about 3,465 mln. UAH.

Key words: iron ore, rock massif, stress-strain state, weak host rocks, hanging wall chamber, mining method.

ЗУБКО Сергій Андрійович

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
СИСТЕМ РОЗРОБКИ ЗАЛІЗНИХ РУД
У СЛАБКИХ ВМІЩУЮЧИХ ПОРОДАХ**

(Автореферат)

Підписано до друку 29.04.14. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №62.

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К Маркса, 19