

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»**

СТАРОТІТОРОВ Ігор Юрійович



УДК 622.261.27

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ ПІДГОТОВЧИХ
ВИРОБОК ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ КРИВБАСУ, ЩО ПРОЙДЕНІ В
НЕОДНОРІДНОМУ ПОРОДНОМУ МАСИВІ**

Спеціальність 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнича механіка”

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

Дніпропетровськ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівництва і геомеханіки Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Дніпропетровськ)

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шашенко Олександр Миколайович,
завідувач кафедри будівництва і геомеханіки ДВНЗ
«Національний гірничий університет» Міністерства
освіти і науки, молоді та спорту України
(м. Дніпропетровськ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник **Дрібан Віктор Олександрович,**
завідувач відділу гірничого тиску Українського
державного науково-дослідного і проектно-
конструкторського інституту гірничої геології,
геомеханіки і маркшейдерської справи НАН
України (м. Донецьк)

кандидат технічних наук, доцент
Тютюкін Олексій Леонідович,
доцент кафедри тунелів, основ та фундаментів
Дніпропетровського державного технічного
університету залізничного транспорту ім. акад.
В.Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку
України

Захист дисертації відбудеться “ 8 ” липня 2011 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при ДВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, т. 47-24-11).

Автореферат розіслано “ 8 ” червня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Солодянкін О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна посідає одне з провідних місць у світі за запасами високоякісних залізних руд, виробляючи близько 4,5% світового обсягу товарної залізорудної продукції. При цьому українська частка в сегменті експорту залізорудної продукції становить близько 2,5%, що в сукупному експорті країни становить 34,3%, забезпечуючи близько 13% ВВП.

Основний видобуток залізної руди зосереджений у Криворізькому залізорудному басейні. Глибина кар'єрів, що забезпечують основний обсяг видобутку, досягла свого максимуму й подальша розробка руди буде вестися комбінованим способом зі все більшою перевагою підземного видобутку.

Зараз високоякісна залізна руда в Кривбасі видобувається підземним способом на глибинах, що перевищують 1200-1500 м. Одним зі шляхів підвищення ефективності такого залізорудного виробництва є здешевлення процесу видобутку руди підземним способом, у тому числі й за рахунок підвищення стійкості основних капітальних і підготовчих гірничих виробок, що споруджуються в істотно неоднорідному породному масиві. Так, на рудниках ВАТ «Криворіжський залізорудний комбінат» (ВАТ «КЗРК») в 2010 році сукупна вартість ремонтних робіт склала 4,28%, що еквівалентно, приблизно, 40 млн. грн. Цих коштів достатньо для спорудження нового горизонту залізорудної шахти.

Серед чинників, що негативно впливають на стійкість протяжних виробок, можна виділити такі як неоднорідність породного масиву, тріщинуватість порід, велика глибина ведення гірничих робіт. Всі ці чинники потрібно враховувати при розробці заходів щодо забезпечення тривалої стійкості виробок. Для цього необхідно визначити закономірності деформування породного масиву навколо гірничих виробок для конкретних гірничо-геологічних умов їх експлуатації.

Таким чином, встановлення закономірностей руйнування складно-структурного породного масиву навколо підготовчих виробок залізорудних шахт Кривбасу з метою вибору найбільш раціональних параметрів кріплення, що дозволить підвищити стійкість протяжних гірничих виробок, а відтак знизити витрати на їх ремонт та підтримку, є актуальною науково-технічною задачею, що має важливе народно-господарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана відповідно до програми науково-дослідних робіт Державного ВНЗ «Національний гірничий університет», які пов'язані з держбюджетною темою ГП-366 "Закономірності катастрофічних проявів гірського тиску в підземних виробках" (№ держ. реєстрації 0105U000519) і держбюджетною темою ГП-410 (№ держ. реєстрації 0108U000541).

Метою досліджень є геомеханічне обґрунтування стійкості протяжних виробок, пройдених у структурно-неоднорідному породному масиві залізорудних шахт Кривбасу.

Основна ідея роботи полягає у введенні в алгоритм розрахунку статистичних параметрів розподілу міцності гірських порід, що деформуються в режимі контрольованого руйнування.

Об'єктом досліджень є стійкість протяжних підготовчих виробок шахти «Родіна» ВАТ «КЗРК».

Предметом досліджень є параметри напружено-деформованого стану неоднорідного породного масиву навколо одиночних виробок.

Основні задачі досліджень включають:

- аналіз стану залізорудної промисловості України;
- аналіз стану протяжних гірничих виробок на шахтах ВАТ «КЗРК»;
- чисельне моделювання процесу руйнування гірських порід за межею міцності;
- моделювання стійкості гірничих виробок на моделях з еквівалентних матеріалів;
- натурні виміри деформацій контуру виробок на ш. «Родіна»;
- чисельне моделювання стійкості протяжних гірничих виробок для гірничо-геологічних умов ш. «Родіна» ВАТ «КЗРК»;
- розробка методики геомеханічного прогнозу стійкості підготовчих виробок шахт ВАТ «КЗРК».

Методи досліджень, прийняті в дисертації, є комплексними й полягають в аналізі джерел інформації в області міцності й руйнування, у т.ч. гірських порід, застосуванні теорії ймовірностей і математичної статистики, методів механіки суцільного середовища, моделювання на еквівалентних матеріалах, чисельного моделювання.

Основні наукові положення, що захищаються в дисертації:

- швидкість конвергенції контуру підготовчих виробок у гірничо-геологічних умовах ш. «Родіна» є нелінійною (степеневою) функцією показника розробки, що дозволяє на стадії проектування робити геомеханічний прогноз стійкості виробки, характера прояву гірського тиску і конструкції кріплення;
- величина переміщень контуру виробки при довжині анкерів 2,4 м перебуває в степеневій залежності від їхньої кількості і стабілізується при 7 анкерах, що дозволяє забезпечити стійкість підготовчих виробок гор.1315 м ш. «Родіна».

Наукова новизна отриманих результатів:

- доведена можливість чисельного моделювання процесу контрольованого руйнування гірських порід на основі логнормального закону розподілу міцності зразків гірських порід, що дозволило вдосконалити програмний продукт за рахунок додаткового модуля і підвищити точність геомеханічних розрахунків;
- вперше для гірничо-геологічних умов ш. «Родіна» встановлені законо-мірності деформування підготовчих виробок в залежності від показника розробки, що дозволило зробити прогноз проявів гірського тиску;
- обґрунтована можливість підвищення стійкості підготовчих виробок ш. «Родіна» шляхом застосування нових параметрів комбінованого кріплення, що дозволить зменшити конвергенцію контуру виробки.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей руйнування складноструктурного породного масиву при формуванні зони непружних деформацій навколо протяжних виробок ш. «Родіна» ВАТ «КЗРК».

Практичне значення роботи полягає у впровадженні «Методики оцінки стійкості підземних виробок на рудниках Кривбасу» з метою вдосконалення систем комбінованого кріплення й підвищення на цій основі стійкості основних відкатних магістралей, а також у вдосконаленні програмного продукту для оцінки напружено-деформованого стану породного масиву навколо виробок шляхом введення додаткового розрахункового модуля, що дозволяє враховувати ймовірнісний характер руйнування гірських порід у кожній точці породного масиву.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується використанням апробованих методів досліджень, таких як механіка суцільного середовища, теорія ймовірностей і математична статистика, задовільним (до 85%) збігом результатів натурних і чисельних експериментів.

Реалізація результатів роботи. Методика чисельного розрахунку геомеханічних параметрів, що характеризують стійкість підготовчих виробок, і вибору кількості та місця установки анкерів прийнята для використання на ш. «Родіна» ВАТ «КЗРК». Очікуваний економічний ефект складає 258 тис. грн. на рік.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні мети й основних задач досліджень, зборі й аналізі інформації про стан залізорудного комплексу України; виконанні лабораторних експериментів на моделях із еквівалентних матеріалів; чисельному моделюванні стійкості протяжних виробок методом скінченних елементів; розробці й впровадженні методики оцінки напружено-деформованого стану структурно-неоднорідного масиву навколо протяжних виробок ш. «Родіна» ВАТ «КЗРК».

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідалися на міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених, аспірантів і студентів "Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений" (м. Донецьк, 2004-2008 рр.), міжнародному колоквиумі ім. проф. Протодьяконова (м. Дніпропетровськ, 2008 р.), міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених, аспірантів і студентів "Перспективы освоения подземного пространства" (м. Дніпропетровськ, 2008, 2009 рр.), міжнародних Форумах студентів "Розширюючи обрії" (м. Дніпропетровськ, 2008, 2009 рр.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 16 наукових працях, у т.ч. 5 статей у фахових виданнях і 11 статей в матеріалах науково-технічних конференцій.

Структура й обсяг. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновку, списку літературних джерел з 168 найменувань на 17 сторінках і 2 додатків. Робота викладена на 149 сторінках машинописного тексту, містить 65 рисунків, 9 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 191 сторінку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Криворізький залізорудний басейн є найбільшим в Україні та одним із найбільших у світі. Експорт залізної руди і виробів із металу в загальному експорті країни становить 34,3%, забезпечуючи близько 13% ВВП. Видобуток руди ведеться відкритим і підземним способом, але оскільки глибина кар'єрів уже

перевищила 300 метровий рубіж, то в недалекому майбутньому підземний спосіб видобутку стане основним. Підземним способом руду добувають такі підприємства, як ВАТ «Криворізький залізорудний комбінат» – 43,2%, ЗАТ «Запорізький залізорудний комбінат» – 26,7%, ВАТ «АрселорМітал Кривий Ріг» – 12,8%, ВАТ «Суша балка» – 17,3%.

Серед них ВАТ «КЗРК» є найбільшою виробничою структурою. До його складу входять 4 рудники, шахтні поля яких містять близько 216 млн. тон високоякісної руди. При цьому вже сьогодні гірничі роботи ведуться на глибинах, що перевищують 1500 м.

Собівартість криворізької руди постійно зростає з різних причин, у тому числі й за рахунок росту витрат, пов'язаних з ремонтом протяжних виробок. На сьогодні частка вартості ремонтних робіт у повній собівартості залізної руди складає більш ніж 4% і з кожним роком цей показник стрімко зростає.

Таким чином, дослідження, що спрямовані на зниження витрат, пов'язаних з ремонтом протяжних гірничих виробок є актуальною науково-технічною задачею. Одним із шляхів її вирішення є розробка заходів з підвищення стійкості підземних виробок.

Значний внесок у вирішення питань геомеханічного обґрунтування стійкості підземних виробок у складних умовах внесли Бабіюк Г.В., Бондаренко В.І., Виноградов В.В., Глушко В.Т., Дрібан В.О., Дружко Є.Б., Заславський Ю.З., Зорін А.М., Касьян М.М., Литвинський Г.Г., Максимов О.П., Назимко В.В., Новикова Л.В., Парчевський Л.Я., Петренко В.Д., Пінковський Г.С., Роєнко А.М., Сдвіжкова О.О., Солодянкін О.В., Тютюкін О.Л. Усаченко Б.М., Халимендик Ю.М., Шашенко О.М. і багато інших. Проте, не дивлячись на значні досягнення, враховуючи велику кількість факторів, що впливають на стійкість виробок, вирішення цього питання для конкретних гірничо-геологічних умов все ще залишається актуальним.

За базове підприємство прийнята ш. «Родіна», що входить у структуру ВАТ «КЗРК». Основні проблеми на шахті, що пов'язані зі стійкістю протяжних виробок, стосуються підготовчих виробок, число й загальна довжина яких є переважаючими. Типовою підготовчою виробкою у цій групі є Південний польовий штрек (ППШ) горизонту 1315 м ш. «Родіна». На його прикладі були проведені основні дослідження.

Проходка штреку була зупинена через неможливість протистояти гірському тиску: здимання порід підосви, вивали, закритичне навантаження на кріплення призвели до зупинки проходки й необхідності проведення виробки по новій трасі.

В результаті візуального огляду, аналізу геологічної документації й оцінки ступеня стійкості за довжиною виробки були виділені чотири протяжних ділянки, цікаві з точки зору подальших досліджень. На кожній з виділених ділянок були встановлені замірні станції. За результатами вимірів переміщень на різних ділянках виробки були отримані графіки зміни в часі вертикальної й горизонтальної конвергенції (рис. 1). Характер деформації контуру виробки на цих ділянках наведений на рис. 2. Із рисунків слідує, що конвергенція в межах часу вимірів є незатухаючою на всіх ділянках і змінюється в часі за лінійним законом

$$\Delta U = aT, \text{ мм} \quad (1)$$

де a – емпіричний коефіцієнт з розмірністю [довжина/час], T – час.

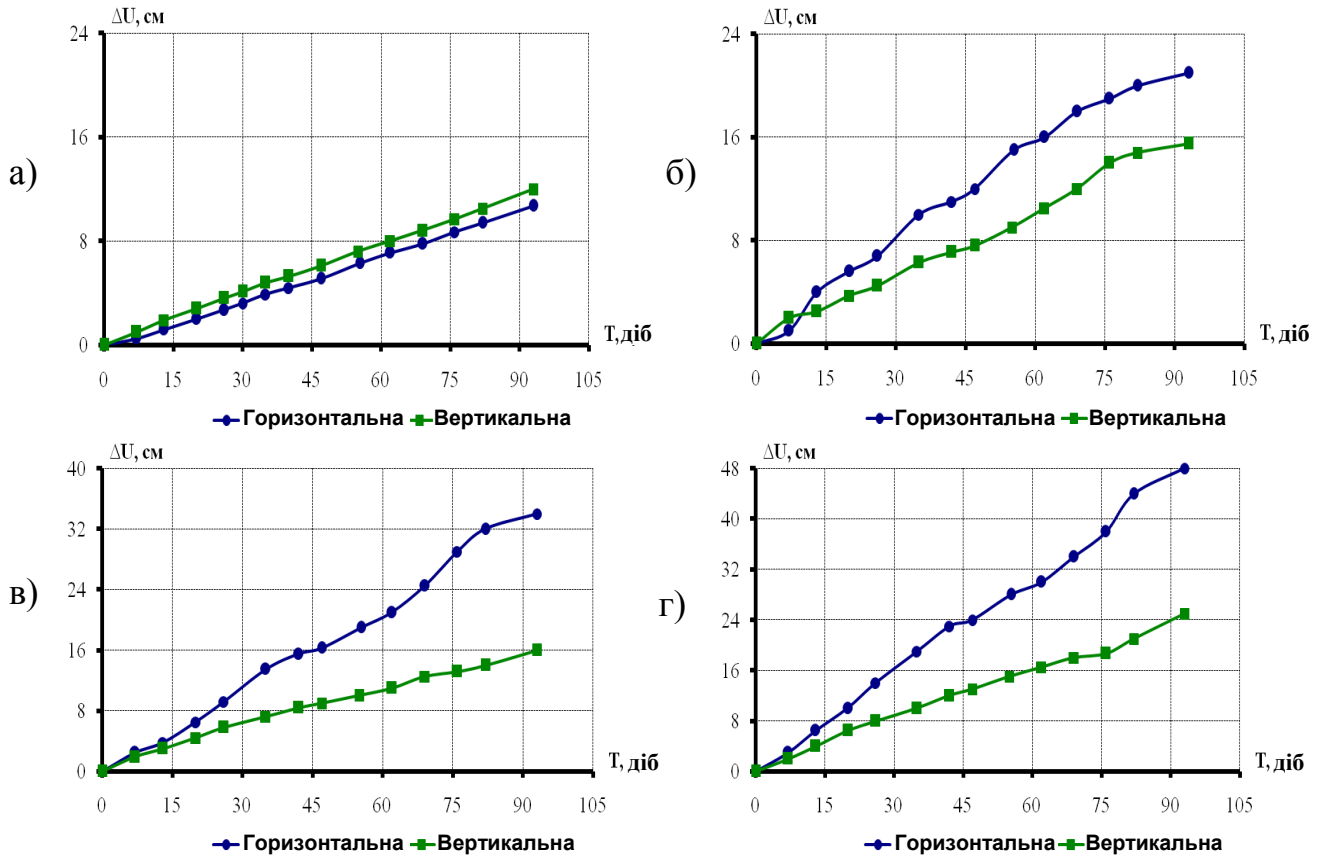


Рис. 1. Конвергенція в ППШ: а) на ділянці II (початкова ділянка нової траси), б) на ділянці III (з флекурою); в) на ділянці IV (з рудою); г) на ділянці I (стара траса)

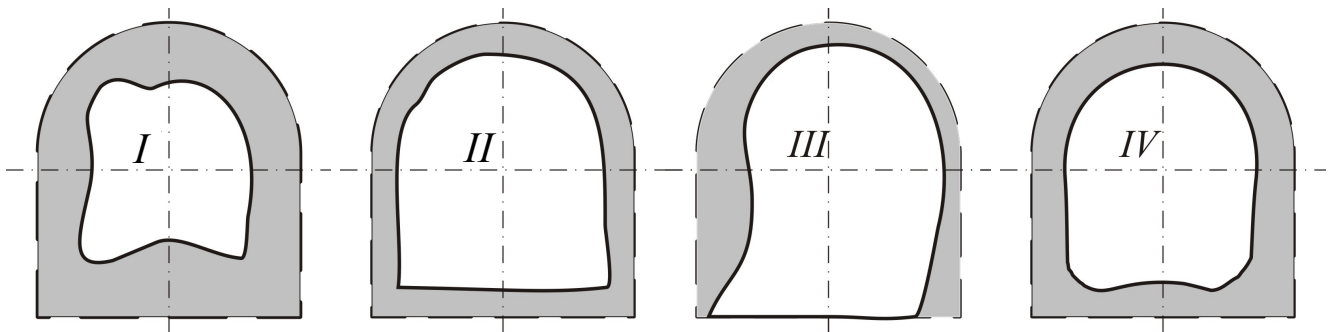


Рис. 2. Форма деформованої виробки на різних ділянках

Аналогічні виміри були проведені в виробках на різних горизонтах ш. «Родіна», що дозволило встановити швидкість конвергенції в залежності від показника розробки Θ (рис. 3):

– для горизонтальної конвергенції

$$V_z = 0,7 \Theta^{-1,12}; \quad (2)$$

– для вертикальної конвергенції

$$V_v = 0,5 \Theta^{-0,98}, \quad (3)$$

де $\Theta = \frac{R_c k_c}{\gamma H}$.

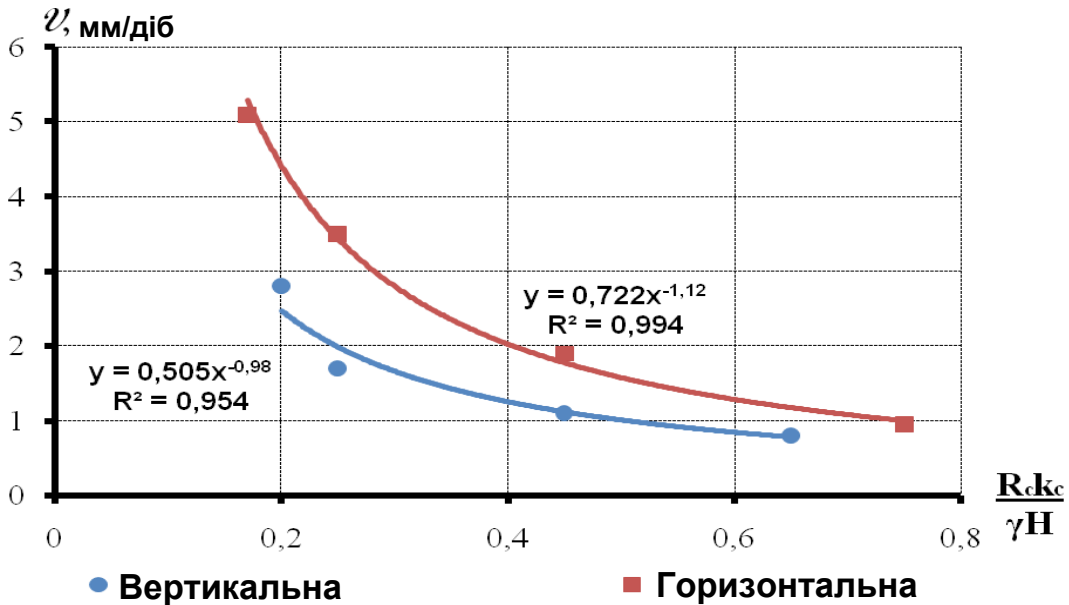


Рис. 3. Залежність швидкостей конвергенції від показника розробки

Аналіз показав, що в часі швидкість конвергенції змінюється нелінійно. Таким чином, в гірничо-геологічних умовах ш. «Родіна» швидкість конвергенції контуру підготовчих виробок знаходиться в степеневій залежності від показника розробки, що дозволяє вже на стадії проектування робити геомеханічний прогноз відносно стійкості виробки, характера прояву гірського тиску й конструкції кріплення.

В дисертації були виконані дослідження на еквівалентних матеріалах, метою яких було встановити можливість взаємного впливу прилеглих виробок, а також виявити особливості зовнішнього прояву напружено-деформованого стану на різних ділянках. В табл. 1 наведені фізико-механічні характеристики порід й еквівалентних матеріалів. Встановлено, що навіть при відстані між виробками в 13 м їх взаємний вплив відсутній. У цьому зв'язку подальші дослідження проводилися на одиночних виробках на моделях з різною структурою, що відповідає виділеним ділянкам. Результати моделювання наведені на рис. 4. Їхній аналіз показав, що зовнішні прояви гірського тиску на моделях і в натурі збігаються. Також встановлено, що в однакових гірничо-геологічних умовах структура породного масиву і його міцність відіграють визначальну роль у стійкості виробок.

Таблиця 1.

Фізико-механічні параметри еквівалентних матеріалів та матеріалів природи

Характеристика матеріала	Стара траса		Нова траса	
	Натури	Моделі	Натури	Моделі
1. Межа міцності на стиск, МПа	70	0,44...0,54	120	0,76...0,92
2. Модуль Юнга, МПа	$6,2 \cdot 10^4$	$0,0433 \cdot 10^4$	$3,59 \cdot 10^4$	$0,0251 \cdot 10^4$
3. Об'ємна маса, т/м ³	2,86	1,8...2,2	2,86	1,8...2,2
4. Коефіцієнт Пуасона	0,32	0,32	0,31	0,31

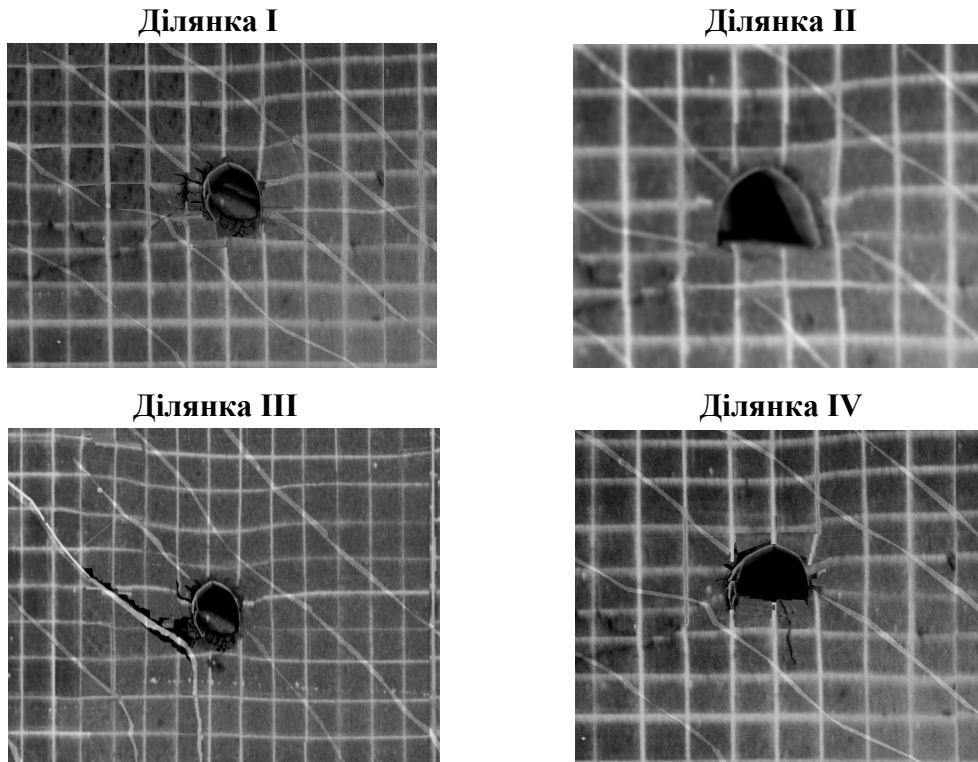


Рис. 4. Кінцевий вигляд моделі на різних ділянках виробки

Перш ніж перейти до математичного моделювання геомеханічних процесів навколо досліджуваних ділянок, у роботі був виконаний аналіз критеріїв міцності, таких як критерій Баландіна (4), Парчевського-Шашенка (5), Хоека-Брауна (6).

$$\sigma_e = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 2\psi((\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}}{2\psi} \leq R_c k_c, \quad (4)$$

$$\sigma_e = \frac{(1-\psi)(\sigma_1 + 2\sigma_3) + \sqrt{(1-\psi)^2(\sigma_1 + 2\sigma_3)^2 + 4\psi(\sigma_1 - \sigma_3)^2}}{2\psi} \leq R_c k_c, \quad (5)$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + R_c \left(m_i \frac{\sigma_3}{R_c} + 1 \right)^{0,5}, \quad (6)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – компоненти головних напружень; σ_e – еквівалентне напруження, що діє в точці масиву; $\psi = R_p/R_c$ – коефіцієнт крихкості гірських порід ($\psi=1$ – відповідає поняттю ідеальної пластичності, $\psi=0$ – ідеальної крихкості); R_c і R_p – межі міцності матеріалу на стиск і розтяг відповідно; k_c – коефіцієнт структурного послаблення, що враховує масштабний ефект; m_i – константа, що враховує генезис і текстуру гірських порід ($4 \leq m_i \leq 33$).

Всі критерії були приведені до безрозмірного вигляду для можливості їхнього порівняння і відповідні криві нанесені на загальний графік (рис. 5). Сюди ж нанесені точки, що відповідають результатам випробувань гірських порід в об'ємному напруженому стані, виконаним в лабораторії А. Н. Ставрогіна, а також

усереднена крива, що відповідає цим випробуванням. Аналіз показав, що ближче всіх до усередненої кривої знаходиться крива, що відповідає критерію міцності Баландіна. У цьому зв'язку в подальших дослідженнях цей критерій був прийнятий за основний.

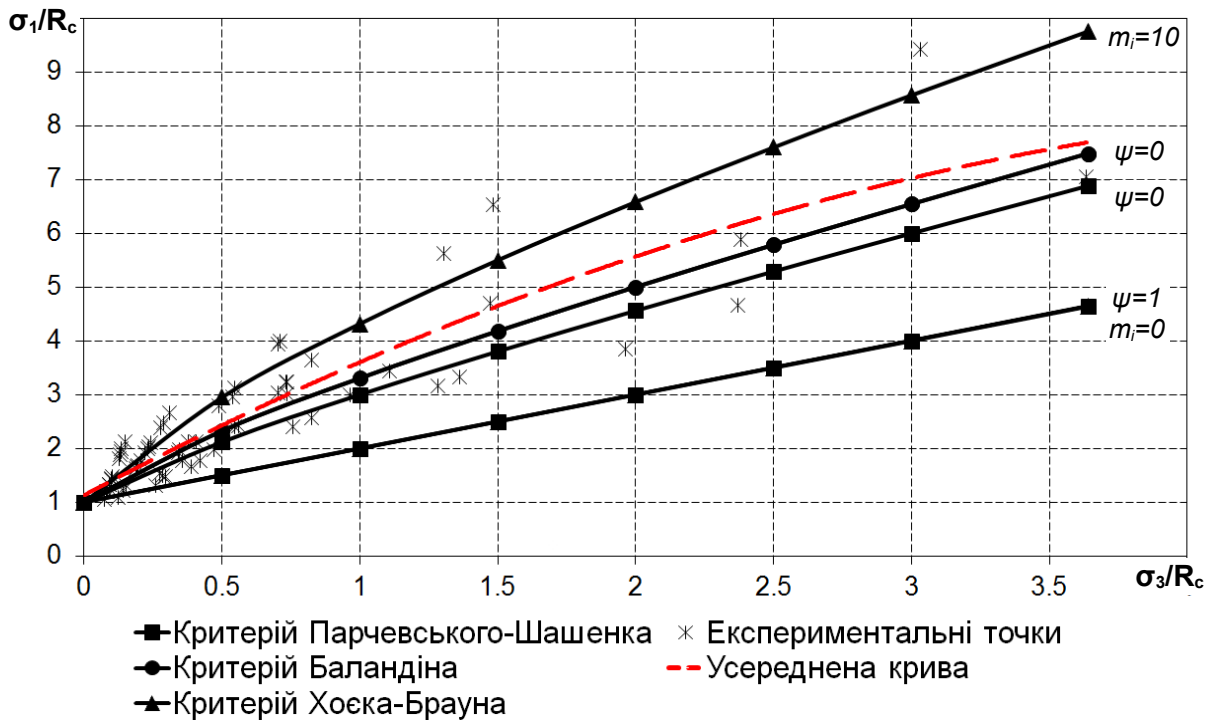


Рис. 5. Порівняння критеріїв міцності з результатами випробувань гірських порід

Наступна частина аналітичних досліджень була пов'язана з оцінкою можливостей застосування критерія Баландіна при різних видах напруженого стану, а також з оцінкою впливу середнього за величиною компонента головних напружень на міцність гірських порід. Для проведення цих досліджень була розроблена скінченно-елементна модель зразка однорідної гірської породи. Вважалось, що модель зруйнується в тому випадку, коли в усіх елементах скінченно-елементної сітки виконається умова

$$\frac{\sigma_e}{R_c} \geq 1. \quad (7)$$

Результати чисельних розрахунків наведені на рис. 6 та 7. Їхній аналіз показав, що чисельна модель досить близько імітує процес руйнування гірської породи. Крім того, існує область напружених станів, при яких неврахування наявності другого за величиною нормального напруження може призвести до похибки, що перевищує 25%. Таким чином, ще раз була підтверджена обґрунтованість вибору критерія Баландіна, як основного робочого інструмента при дослідженні пружно-пластичних задач.

Доведено, що породний масив навколо одиночних виробок деформується в режимі заданих деформацій. Ця обставина повинна бути врахована в алгоритмі рішення відповідної задачі. На рис. 8 показані гістограми розподілу міцності основних гірських порід і руди. Найбільш близько ці гістограми можна описати або нормальним, або логнормальним законом розподілу.



Рис. 6. Огинаючі кругів Мора, побудовані за аналітичними виразами і експериментальними даними

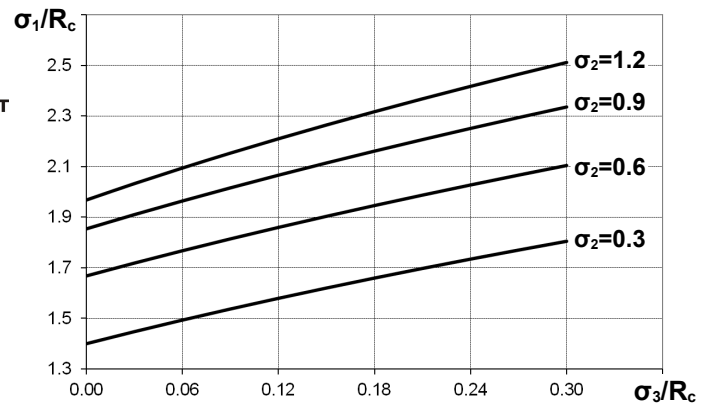
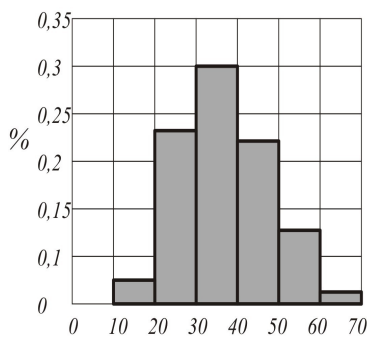
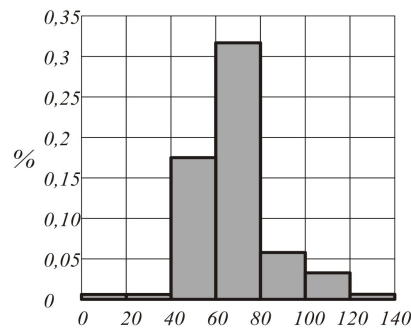


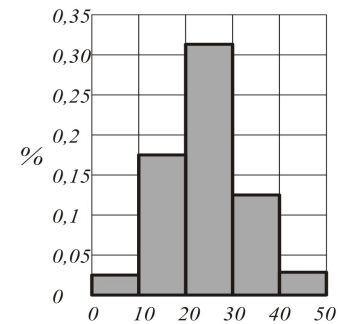
Рис. 7. Вплив проміжного головного напруження на міцність гірських порід



а)



б)



в)

Рис. 8. Гістограми розподілу меж міцності вміщуючих порід і руди (ш. «Родіна»): а) – кварцево-гідрогематитобіотитові сланці; б) – мартито-кварцитогематитові роговики; в) – руда краскомартитова.

Відповідно до прийнятого закону розподілу (нормального чи логнормального) датчик випадкових чисел задавав значення міцності скінченим елементам чисельної моделі. Навантаження моделі велося в режимі заданих деформацій. Результати моделювання наведені на рис. 9.

Із рисунку слідує, що ближче до реальної кривої деформування лягає крива імітації, що побудована на основі логнормального закону розподілу. При цьому похибка моделювання для порід Кривбасу не перевищує 12%. Таким чином, маючи параметри закону розподілу і основні параметри випробувань зразків на звичайний одноосьовий стиск, можна в чисельній моделі створювати криві позамежного деформування не проводячи трудомістких випробувань на спеціальних машинах.

Викладені дослідження дозволили в програмний продукт, розроблений на кафедрі будівництва і геомеханіки за методикою С. М. Гапєєва, внести додатковий модуль, що дозволяє автоматично враховувати в розрахунках процес руйнування породного масиву в режимі заданих деформацій.

На основі даного програмного продукту вирішена тестова задача за допомогою його старої і нової версій. Розрахункова схема до задачі наведена на рис. 10. Розрахунки показали, що більшою мірою з тестовим рішенням збігаються результати, отримані із застосуванням нової версії програмного продукту (табл. 2).

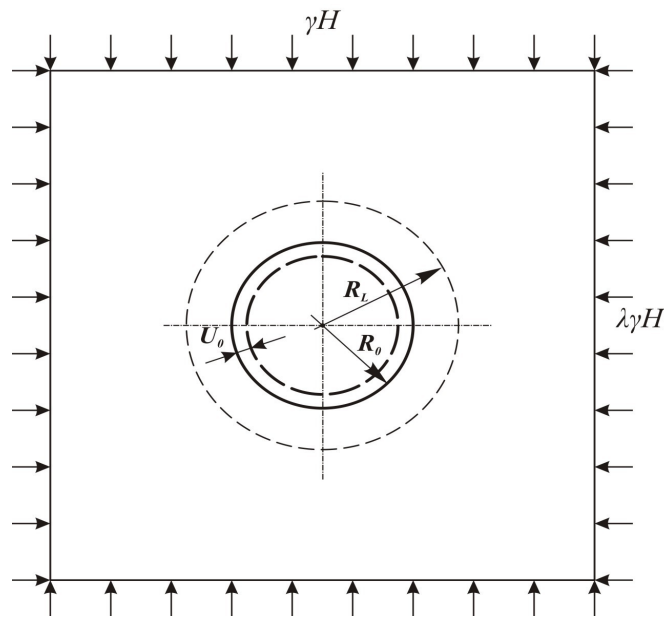
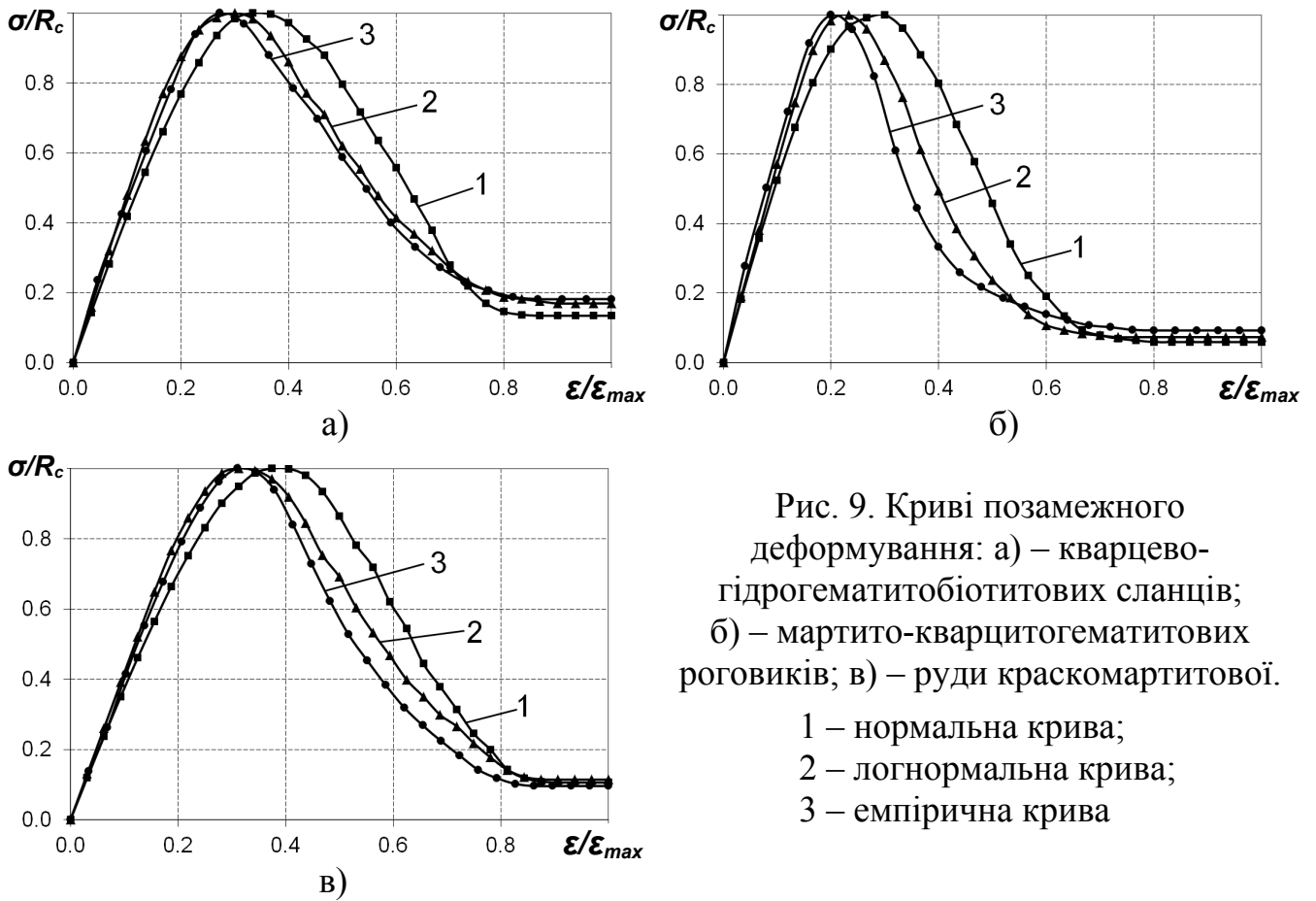


Рис. 10. Розрахункова схема до тестової задачі

Таблиця 2.

Порівняння результатів розрахунків

Варіанти розрахунку	Тестове рішення	За методикою С. М. Гапєєва	За пропонованою методикою
$r_L = \frac{R_L}{R_0}$	2,9	2,53	2,68
$U_0, \text{ м}$	0,28	0,16	0,18

В подальших дослідженнях методика визначення геомеханічних параметрів породного масиву навколо досліджуваних виробок розроблялася на основі нового варіанта програмного продукту. Розрахункові схеми наведені на рис. 11. На рис. 12 показані конфігурації зон непружних деформацій, отримані на основі даного рішення

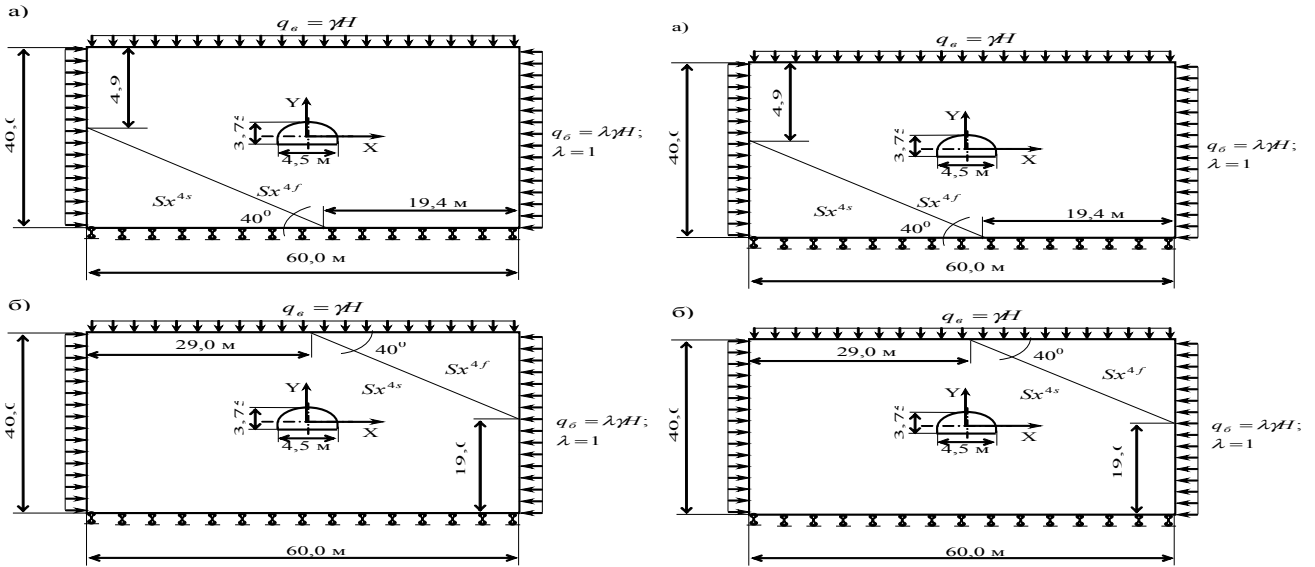
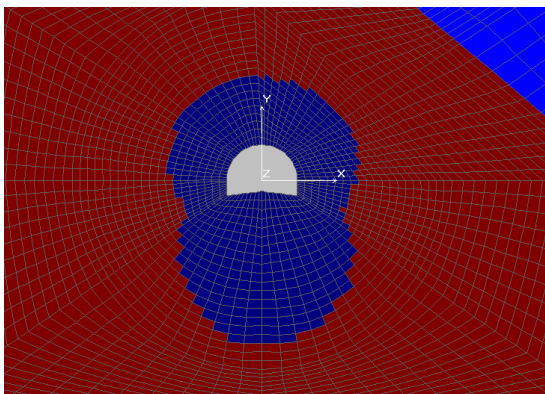
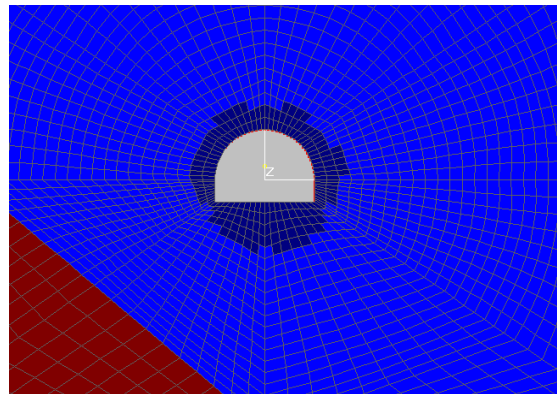


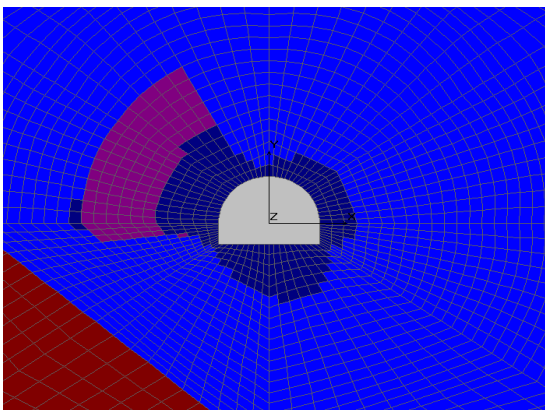
Рис. 11. Розрахункові схеми до задачі дослідження НДС приконтурного масиву для ділянок II, III, IV (а) і I (б)



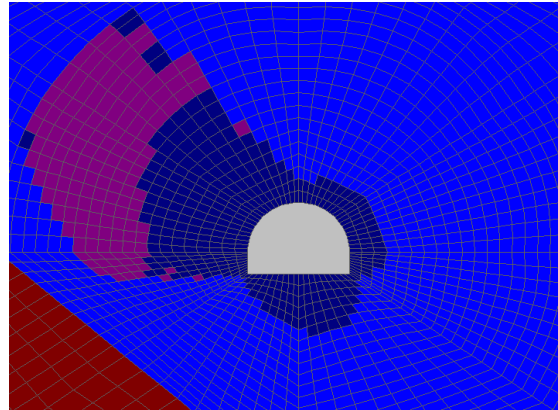
для ділянки I



для ділянки II



для ділянки III



для ділянки IV

Рис. 12. Зони розпушення для ділянок (після непружного рішення)

Для одержання кількісної характеристики стійкості досліджуваної виробки був використаний коефіцієнт стійкості виробки

$$K_y = \frac{r_L^*}{r_L}, \quad (8)$$

де r_r – радіус зони непружних деформацій, віднесений до радіусу виробки;
 r_L^* – критичний радіус зони непружних деформацій, віднесений до радіусу виробки.

Порівняння результатів розрахунку з натурними вимірами за аналізованими ділянками показано в табл. 3. Похибка результатів моделювання не перевищує 14% для ділянки IV, де вміщуючі породи дуже неоднорідні.

Таблиця 3

Результати порівняльного аналізу аналітичних розрахунків та чисельних експериментів

Ділянка	r_L			r_L^*	K_y		
	розрах.	експерим.	Δ , %		розрах.	експерим.	Δ , %
I	2,98	3,28	10,1	2,84	0,95	0,87	8,4
II	1,58	1,60	1,3	3,25	2,06	2,03	1,5
III	1,74	1,73	0,6	3,10	1,78	1,79	0,6
IV	2,04	2,14	14,0	2,74	1,34	1,28	4,5

Виконані розрахунки дозволили запропонувати спосіб підвищення стійкості на ділянках зі значним викривленням контуру. Для досліджуваних умов на основі виконаних рішень рекомендується збільшити вдвічі число рам на погонний метр і встановити анкера на III та IV ділянках виробки в кількості трьох і семи відповідно. На рис. 13 показані результати розрахунку зміщень контуру виробки в залежності від числа анкерів і така ж крива, побудована за результатами натурних вимірів.

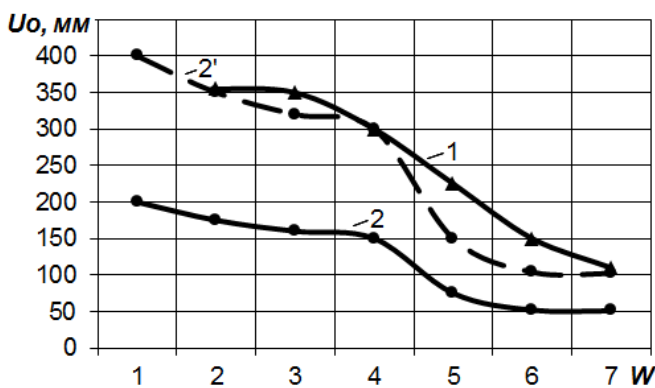


Рис. 13. Залежність зміщень контуру виробки (ділянка IV) від числа анкерів:

- 1 – експериментальна крива;
- 2 – чисельна крива;
- 2' – корекція чисельної кривої

Аналіз отриманих результатів показує, що запропонований алгоритм розрахунку дає хороший збіг в частині визначення розмірів зони непружних деформацій і суттєву відмінність в частині визначення переміщень. Для корекції розрахунків в алгоритм в частині переміщень введений коефіцієнт пропорційності, що дорівнює 2. Відповідна крива зміщень з урахуванням коефіцієнта пропорційності показана на цьому ж рисунку. Це дозволяє для гірничо-геологічних умов ш. «Родіна» вести прогноз переміщень у виробках з похибкою, що не перевищує 10-12%.

За результатами викладених вище досліджень встановлено, що величина переміщень контуру виробки при довжині анкерів 2,4 м перебуває в степеневій залежності від їхнього числа і стабілізується при кількості анкерів, рівному 7, що дозволяє забезпечити стійкість підготовчих виробок гор.1315 м ш. «Родіна».

За результатами досліджень розроблена і прийнята до використання на шахті «Методика оцінки стійкості підземних виробок на рудниках Кривбасу». Очікуваний економічний ефект склав 258 тис. грн./рік.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей деформування структурно-неоднорідного породного масиву навколо підготовчих виробок глибоких залізородних шахт Кривбасу, вирішена актуальна задача зниження експлуатаційних витрат при відпрацюванні рудних тіл, що має важливе значення для гірничодобувної галузі.

Основні наукові та практичні результати досліджень полягають у наступному:

1. Виконані огляд і аналіз інформації про стан гірничорудної промисловості України, оцінені перспективи її розвитку, визначені актуальність та основні задачі досліджень.

2. Виконані аналітичні дослідження, які дозволили довести можливість імітаційного моделювання процесу руйнування породних зразків у складному напруженому стані в режимі контрольованого руйнування, що дало можливість інтегрувати додатковий розрахунковий модуль у програмний продукт і підвищити точність геомеханічних розрахунків.

3. Виконаний аналіз існуючих теорій міцності, що дозволило порівняти результати лабораторних та теоретичних досліджень і обґрунтувати можливість використання в геомеханічних розрахунках теорію міцності Баландіна.

4. Виконані натурні дослідження в ППШ гор.1315 м ш. «Родіна», які дозволили виділити чотири характерні в геомеханічному відношенні ділянки, що дало можливість встановити залежність між величиною переміщень контуру виробки і проявами гірського тиску, а також рекомендувати способи посилення кріплення.

5. Встановлена залежність між числом анкерів і переміщеннями контуру виробки, що дозволило визначати параметри комбінованого кріплення в підготовчих виробках.

6. Розроблена і прийнята до використання на шахтах ВАТ «КЗРК» «Методика оцінки стійкості підземних виробок на рудниках Кривбасу». Це дозволило отримати умовний економічний ефект в 258 тис.грн./рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Старотиторов І.Ю. Оценка прочности массива скальных пород / И.Ю. Старотиторов, А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2007. – Вип. 18. – С. 66-69.

2. Старотиторов И.Ю. Критерии прочности в геомеханике / И.Ю. Старотиторов, А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – № 1. – С. 55-59.
3. Старотиторов И.Ю. Компьютерное моделирование процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии / И.Ю. Старотиторов, А.Н. Шашенко // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2007. – С. 75-82.
4. Starotitov I. Numerical analysis of the rock failure process in the three-dimensional stress state / I. Starotitov, Y. Starotitorova // Науковий вісник Національного гірничого університету (Scientific bulletin of the National mining university). – 2008. – № 6. – С. 52-55.
5. Старотіторов І.Ю. Чисельне моделювання системи «гірничавиробка – складноструктурний породний масив» / І.Ю. Старотіторов, С.М. Гапеев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 3. – С. 121-125.
6. Старотиторов И.Ю. Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг очистных выработок комплексом численных методов / И.Ю. Старотиторов, А.В. Солодянкин // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений : междунар. науч.-техн. конф., 12-13 апр. 2004 г. : тезисы докл. – Донецьк: “Норд-Пресс”, 2004. – Вып. 10. – С. 68-69.
7. Старотиторов И.Ю. Потеря упруго пластической устойчивости сложно структурного массива в окрестности одиночной выработки / И.Ю. Старотиторов, С.Н. Гапеев // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений : междунар. науч.-техн. конф., 11-12 апр. 2005 г. : тезисы докл. – Донецьк: “Норд-Пресс”, 2005. – Вып. 11. – С. 46-47.
8. Старотиторов И.Ю. Обоснование геометрических параметров охранных угольных целиков / И.Ю. Старотиторов, М.А. Выгодин, А.Е. Григорьев // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений : междунар. науч.-техн. конф., 12-13 апр. 2006 г. : тезисы докл. – Донецьк: “Норд-Пресс”, 2006. – Вып. 12. – С. 51-52.
9. Старотиторов И.Ю. К вопросу об устойчивости подземных выработок, пройденных в трещиноватом породном массиве / И.Ю. Старотиторов // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений : междунар. науч.-техн. конф., 12-13 апр. 2006 г. : тезисы докл. – Донецьк: “Норд-Пресс”, 2006. – Вып. 12. – С. 60-61.
10. Старотиторов И.Ю. Численный анализ прочности горных пород в объемном напряженном состоянии / И.Ю. Старотиторов, А.А. Шарапов, И.В. Кондратюк // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений : междунар. науч.-техн. конф., 11-12 апр. 2007 г. : тезисы докл. – Донецьк: ООО “Норд-Пресс”, 2007. – Вып. 13. – С. 116-118.
11. Старотиторов И.Ю. Оценка устойчивости геотехнической системы (ГТС) «протяженная выработка-сложноструктурный породный массив» / И.Ю. Старотиторов, С.Н. Гапеев // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений : междунар. науч.-техн. конф., 10-11 апр. 2008 г. : тезисы докл. – Донецьк: ООО “Норд-Пресс”, 2008. – Вып. 14. – С. 72-74.
12. Старотиторов И.Ю. Сравнительный анализ критериев прочности горных пород / И.Ю. Старотиторов, Р.Ю. Киреев // Перспективы освоения подземного пространства : міжнар. науч.-техн. конф., 21-22 квіт. 2008 р. : доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – С. 22-24.

13. Starotitorov I. Rock strength estimation in the three-dimensional stress state using numerical simulation / I. Starotitorov // Розширюючи обрії : міжнар. форум студ., 14-15 квіт. 2008 р. : тези доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – С. 194-195.
14. Старотиторов И.Ю. Анализ процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии на численной модели / И.Ю. Старотиторов // Перспективы освоения подземного пространства : міжнар. наук.-техн. конф., 23-24 квіт. 2009 р. : доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – С. 34-38.
15. Старотиторов И.Ю. Оценка устойчивости подземных выработок на основе анализа численных моделей / И.Ю. Старотиторов, С.Н. Гапеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: 2009. – № 1. – С. 312-317.
16. Starotitorov I. Comparative estimation of rock failure criteria / I. Starotitorov // Розширюючи обрії : міжнар. форум студ., 15-16 квіт. 2009 р. : тези доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – С. 241.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1, 2] – виконання аналітичних досліджень, аналіз результатів; [3, 4, 10] – розробка методики і проведення чисельних досліджень, аналіз результатів; [5, 11, 15] – формулювання основних задач, виконання лабораторних випробувань породних зразків гірської породи, проведення чисельних досліджень, аналіз результатів; [6, 8] – проведення чисельних експериментів; [7] – виконання лабораторних експериментів на моделях із еквівалентних матеріалів; проведення чисельного моделювання; [12] – формулювання основних задач, виконання аналітичних досліджень, аналіз результатів.

АНОТАЦІЯ

Старотіторов І.Ю. Обґрунтування параметрів кріплення підготовчих виробок залізородних шахт Кривбасу, що пройдені в неоднорідному породному масиві. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2011.

У дисертації вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення стійкості підготовчих виробок залізородних шахт Кривбасу. Виконаний аналіз витрат, пов'язаних з підтримкою гірничих виробок. Організовані та проведені натурні вимірювання конвергенції в гірничих виробках. Проведені лабораторні випробування основних вміщуючих порід і руди, в тому числі і за межею міцності.

Виконаний аналіз існуючих теорій міцності. Методом скінченних елементів виконане моделювання процесу руйнування гірських порід в об'ємному напруженому стані і в одноосьовому за межею міцності. Розроблений алгоритм розв'язання пружнопластичної завдання з урахуванням можливості руйнування гірських порід за межею міцності.

Для гірничо-геологічних умов ш. «Родіна» виконаний геомеханічний аналіз умов підтримки підготовчих виробок з використанням удосконаленого алгоритму

розрахунку. Виконані розрахунки параметрів анкерного кріплення для розглянутих умов.

Ключові слова: гірничорудна промисловість, стійкість підготовчих виробок, геомеханічні параметри, логнормальний розподіл, деформування за межею міцності, алгоритм розрахунку пружнопластичної задачі, анкерне кріплення.

АННОТАЦІЯ

Старотиторов И.Ю. Обоснование параметров крепи подготовительных выработок железорудных шахт Кривбасса, пройденных в неоднородном породном массиве. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2011.

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача повышения устойчивости подготовительных выработок железорудных шахт Кривбасса. Выполнен анализ затрат, связанных с поддержанием горных выработок. Организованы и проведены натурные измерения конвергенции в горных выработках, что позволило установить закономерности их деформирования в зависимости от комплексного показателя разработки, и на этой основе вести прогноз состояния геомеханической системы “крепь – породный массив”.

Выполнены лабораторные испытания основных вмещающих пород и руды, в том числе и за пределом прочности. Построены гистограммы распределения предела прочности на одноосное сжатие, которое ближе всего аппроксимируется логнормальным законом распределения. Выполнено моделирование устойчивости подготовительных выработок, пройденных в существенно неоднородном породном массиве, что позволило установить тенденции в части их поддержания.

Выполнен анализ существующих теорий прочности, позволивший сравнить результаты лабораторных и теоретических исследований, и обосновать возможность использования в геомеханических расчетах теорию прочности Баландина.

Методом конечных элементов проделано моделирование процесса разрушения горных пород в объемном напряженном состоянии и в одноосном за пределом прочности. Доказано, что при условии распределения прочности по логнормальному закону, кривые запредельного деформирования достаточно близко соответствуют реальным кривым деформирования. Разработан алгоритм решения упругопластической задачи с учетом возможности разрушения горных пород за пределом прочности.

Для горногеологических условий ш. «Родина» выполнен геомеханический анализ условий поддержания подготовительных выработок с использованием усовершенствованного алгоритма расчета. Выполнены расчеты параметров анкерной крепи для рассматриваемых условий. Натурные замеры показали, что с учетом поправочных коэффициентов алгоритм расчета позволяет достаточно точно вести прогноз основных геомеханических параметров.

На основе выполненных исследований разработана и принята к использованию на шахтах ОАО «КЖРК» «Методика оценки устойчивости подземных выработок на рудниках Кривбасса».

Предполагаемый экономический эффект от внедрения результатов исследований в условиях ш. «Родина» составил 258 тыс. грн./год.

Ключевые слова: горнорудная промышленность, устойчивость подготовительных выработок, геомеханические параметры, логнормальное распределение, деформирование за пределом прочности, алгоритм расчета упругопластической задачи, анкерная крепь.

ABSTRACT

Starotitorov I.Y. Substantiation of the support parameters of Krivbass iron ore development mine workings, driven in a heterogeneous rock mass. – Manuscript.

Dissertation for Ph.D. degree in the specialty 05.15.09 – "Geotechnical and Rock mechanics". State higher educational establishment "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2011.

An actual scientific and technical problem of improving the stability of development workings for Krivbass iron ore mines is solved in the work. The analysis of the costs associated with maintaining mine workings is made. Situ measurements of convergence in the mines are organized and carried out. Laboratory testing the main enclosing rocks and ores, including compressive strength testing, are made.

The analysis of existing strength theories is made. Simulation of rock failure in a complex stress state and in uniaxial compressive strength is done using finite element method. An algorithm for the solution of elastoplastic problem is developed. It takes into account the possibility of rocks to failure in compressive strength.

Geomechanical analysis of the maintaining conditions for development workings with using an improved calculation algorithm is made for the mining and geological conditions of the "Rodina" mine. Calculations of the bolt support parameters are made for the conditions considered.

Keywords: ore mining industry, stability of development workings, geomechanical parameters, lognormal distribution, deformation in the compression strength, calculation algorithm of elastoplastic problem, bolt support.

СТАРОТІТОРОВ Ігор Юрійович

Обґрунтування параметрів кріплення підготовчих виробок залізрудних шахт Кривбасу, що пройдені в неоднорідному породному масиві

(Автореферат)

Підписано до друку 06.06.2011 р. Формат 60x90/16.

Папір офсетний. Ризографія. Умов.друк.арк. 0,9.

Обліково-видавн. арк. 0,9.

Тираж 120 прим. Замовлення № 367.

РВК НГУ

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

