

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

ЯНКІН Олександр Євгенович

УДК 622.283+622.236

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ПРОВЕДЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТВОЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ
СТІЙКОСТІ ПОРОДНИХ ОГОЛЕНЬ І КРІПЛЕННЯ**

Спеціальність: 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво»

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

Дніпропетровськ – 2014

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Роєнко Анатолій Миколайович**, професор кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент **Харін Сергій Анатолійович**, професор кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій Обласного комунального вищого навчального закладу «Інститут підприємництва "Стратегія"» Міністерства освіти і науки України (м. Жовті Води);

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

Захист дисертації відбудеться «05» грудня 2014 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.080.04 у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, т. (0562) 47-24-11).

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

Автореферат розісланий "05" листопада 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Подальше зростання видобутку вугілля в Україні, навіть без будівництва нових шахт, передбачає збільшення площі шахтних полів, підготовку глибоких горизонтів, інтенсифікацію гірничих робіт. Це викликає необхідність збільшення продуктивності підйому, обсягів повітря, що подається в шахту, наявність запасних виходів. Комплексно вирішити ці проблеми можна тільки за рахунок спорудження нових стволів. За роки незалежності України ДВАТ «Трест Донецькшахтопроходка» на діючих шахтах для розвитку гірничих робіт було побудовано понад 10 глибоких стволів. Неминуче збільшення глибини стволів призводить до істотного погіршення їх стану. Спостереження, виконані фахівцями УкрНДМІ в глибоких стволах Донбасу, показали, що більше половини з них мають пошкодження кріплення. Проектування вертикальних стволів засноване на положенні, що кріплення при діючих на нього навантаженнях не повинне руйнуватися. Реальне навантаження на кріплення стволів залежить від багатьох факторів, основними з яких є гірничо-геологічні умови, міцність кріплення, а також технологія проходки ствола. Основною технологічною схемою проведення стволів нині є суміщена із застосуванням буропідривного способу руйнування порід і кріпленням з монолітного бетону. В результаті вибухових робіт в боках ствола утворюються значні нерівності контуру, які знижують стійкість стін ствола, створюють нерівномірне навантаження на кріплення, змінюють його товщину. Крім того, перебори породи призводять до збільшення обсягу завантаження породи і перевитрат бетону при зведенні кріплення. Фактична міцність бетону також характеризується як випадкова величина і вимагає відповідного обліку при проектуванні кріплення. Зазначені випадкові параметри, можуть бути враховані середнім значенням відхилень і мінливістю. Таким чином, встановлення закономірностей зміни випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень і міцність монолітного бетонного кріплення з метою вдосконалення параметрів технології проведення вертикальних стволів за суміщеною схемою проходки є актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертація відповідає програмі науково-дослідних робіт Державного ВНЗ «НГУ», яка пов'язана з держбюджетними темами ГП-321 «Теоретичне обґрунтування системи управління стійкістю підземних виробок, що споруджуються в гетерогенних тріщинуватих вуглепородних масивах» (№ ГР 0103U001292) і ГП-410 «Геомеханічне обґрунтування підземної технології інтенсивного видобутку вугілля з урахуванням особливостей геологічного середовища» (№ ГР 0108U000541) - відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці», а також в рамках комплексної галузевої програми РН.Ц.001 «Удосконалення технічної бази паливно-енергетичного комплексу та підвищення ефективності використання енергоресурсів».

Метою досліджень є вдосконалення параметрів буропідривної технології проведення вертикальних стволів за суміщеною схемою проходки для підвищення стійкості породних оголень і міцності монолітного бетонного кріплення.

Ідея роботи полягає у врахуванні закономірностей зміни випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень і міцність монолітного бетонного кріплення при обґрунтуванні раціональних технологічних параметрів проведення вертикальних стволів.

Об'єктом досліджень є стійкість геомеханічної системи «монолітне бетонне кріплення-приконтурний породний масив» протяжної ділянки вертикального ствола.

Предмет досліджень - варіація випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень і міцність монолітного бетонного кріплення.

Для досягнення мети роботи поставлені і вирішені наступні завдання:

- виконати аналіз та узагальнення результатів досліджень і досвіду проектування, спорудження і підтримки вертикальних шахтних стволів;
- виконати лабораторні дослідження неоднорідності міцнісних показників матеріалу бетонного кріплення вертикальних стволів;
- провести комплекс натурних досліджень з вивчення якості оконтурювання бічних стін стволів після проведення буропідливних робіт;
- зробити оцінку ступеня впливу основних факторів на величину запасу міцності монолітного бетонного кріплення ствола;
- провести чисельне моделювання геомеханічної системи «монолітне бетонне кріплення-приконтурний породний масив» протяжної ділянки вертикального ствола з урахуванням комплексу основних факторів, що впливають;
- розробити заходи щодо підвищення якості оконтурювання бічних стін і зниження величини переборів порід після проведення буропідливних робіт;
- визначити очікуваний економічний ефект від застосування нових рішень щодо вдосконалення буропідливної технології проведення стволів.

Методи досліджень. Методологічну основу рішення поставлених задач досліджень становить комплексний підхід із залученням: методів аналізу та узагальнення літературних джерел з тематики роботи; механіки гірських порід; комплексу натурних та лабораторних досліджень; математичного моделювання геомеханічних процесів навколо підземних виробок із застосуванням чисельних методів розв'язання задач; методів механіки суцільного деформованого твердого тіла, механіки руйнування; математичної статистики і теорії ймовірностей при обробці результатів вимірювань.

Основні наукові положення, що захищаються в дисертації:

1. При буропідливній технології проведення ствола зі збільшенням міцності порід середня величина переборів зростає за логарифмічною, а їх відносна варіація зростає за експоненціальною залежністю, що дозволяє планувати техніко-економічні показники при проведенні стволів.

2. Коефіцієнт стійкості масиву порід на контурі ствола в донній частині контурних шпурів k_y лінійно зростає зі збільшенням висоти уступу при ступінчатій формі вибою, при цьому максимальне зниження руйнувань контуру для ствола діаметром 8 м досягається при висоті уступу $h_y = 0,9$ м, що дозволяє в два рази зменшити нерівномірність відхилень породного контуру і знизити динамічний вплив на стіни ствола від вибуху.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше встановлені закономірності зміни випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень після проведення буропідливних робіт і міцність монолітного бетонного кріплення при проходці вертикального ствола;
- вперше встановлена залежність ступеня зламності зовнішнього контуру кріплення n_p від коефіцієнта варіації V величини відхилень контуру ствола, що визначають вірогідність руйнування монолітного бетонного кріплення ствола;
- розроблена нова чисельна модель призабійної ділянки вертикального ствола, що дозволяє визначати оптимальну висоту уступу при заданих параметрах буропідливної технології проходки ствола, включаючи динамічний вплив вибуху зарядів контурних шпурів;
- вперше отримана залежність коефіцієнта стійкості приконтурного масиву порід в нижній частині заходки ствола від висоти уступу при ступінчатій формі вибою;
- обґрунтовані параметри нової схеми відбійки порід з уступної формою вибою, при якій знижуються величина руйнувань контуру ствола в нижній частині заходки і перебори.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень і міцність монолітного бетонного кріплення в стволах і обґрунтуванні параметрів нової схеми відбійки порід з уступною формою вибою, при якій знижується величина руйнувань контуру ствола в нижній частині заходки і перебори порід.

Практичне значення роботи полягає в розробці:

- нової схеми відбійки порід з уступною формою вибою, перевагою якої є зменшення руйнування бокових порід у нижній частині заходки;
- паспорта буропідливних робіт для уступної форми вибою ствола і контурними шпурами з розосередженим зарядом ВВ, який впроваджено на повітряподаючому стволі №3 ШУ «Покровське»;
- рекомендацій щодо зниження величини руйнувань контуру ствола, переборів і об'єму бетону для постійного кріплення при проведенні повітряподаючого ствола №3 ШУ «Покровське».

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується використанням апробованих методів досліджень, таких як механіка суцільного середовища, теорія ймовірностей і математична статистика і підтверджується задовільним збігом результатів натурних і чисельних досліджень (помилка не перевищує 18%), представницьким об'ємом натурних вимірів і позитивним результатом дослідно-промислового впровадження запропонованих рекомендацій.

Реалізація роботи в промисловості. Розроблений паспорт буропідливних робіт для уступної форми вибою ствола і «Рекомендації щодо зниження величини руйнувань контуру ствола, переборів і об'єму бетону» впроваджені при проведенні повітряподаючого ствола №3 ШУ «Покровське». Результати досліджень можуть бути використані в аналогічних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах вугільних шахт.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні мети і основних за-

дач досліджень, наукових положень, організації та виконанні натурних вимірів, виконанні лабораторних і аналітичних досліджень, обґрунтуванні нової схеми відбійки порід з уступної формою вибою, розробці «Рекомендацій» щодо вдосконалення технологічних процесів, впровадженні розроблених рішень і рекомендацій у промисловості.

Апробація результатів досліджень. Основні положення дисертаційної роботи повідомлені, обговорені та схвалені на: міжнародній науково-технічній конференції «Форум гірників» (Дніпропетровськ, НГУ, 2002), регіональній науково-практичній школі-семінарі «Прогресивні технології будівництва, безпеки та реструктуризації гірничих підприємств» (Донецьк, 2005), міжнародних науково-технічних конференціях молодих вчених, аспірантів та студентів «Удосконалення технології будівництва шахт і підземних споруд» (Донецьк, ДонНТУ, 2002, 2003), «Перспективи освоєння підземного простору» (Дніпропетровськ, НГУ, 2007, 2008), «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва» (Київ, НТТУ«КПІ», 2014).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 статей, в т.ч. 9 – в спеціалізованих періодичних виданнях, з них 2 – в зарубіжному виданні та збірнику, що входить до міжнародної наукометричної бази даних; 6 – в збірниках матеріалів конференцій, 1 – в ювілейному випуску НГА України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел з 158 найменувань на 15 сторінках і 4 додатків на 6 сторінках. Містить 149 машинописних сторінок, 94 рисунка і 24 таблиці. Загальний обсяг дисертації становить 194 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ дисертації присвячений аналізу та узагальненню результатів досліджень і досвіду проектування, спорудження і підтримки вертикальних шахтних стволів.

Показано, що реальне навантаження на кріплення стволів характеризується не тільки закономірною складовою, а й випадковою, величину якої можна порівняти з закономірною. Це навантаження залежить від багатьох факторів, але основними є гірничо-геологічні умови, параметри кріплення, а також технологія проходки і кріплення ствола. Основною технологічною схемою при проведенні вертикальних стволів в даний час є суміщення із застосуванням буропідривного способу руйнування порід і кріпленням з монолітного бетону. В результаті буропідривних робіт в боках ствола утворюються значні нерівності контуру, що призводять до нерівномірності навантаження на кріплення, відхилень товщини, збільшення обсягу породи, що видається зі ствола, а також значних перевитрат бетону при зведенні кріплення. Фактична міцність бетону також характеризується як випадкова величина і вимагає відповідного врахування при проектуванні кріплення. У методиці розрахунку параметрів кріплення зазначені випадкові величини, можуть бути враховані середнім значенням відхилень і мінливістю. Залежності цих величин від основних факторів, що впливають, дозволять вносити відповідні зміни в технологічні параметри проходки для мінімізації об'ємів руйнувань породи і бетону без зниження міцності кріплення.

Наукова школа проектування, спорудження і підтримки стволів створена

працями вчених провідних науково-дослідних, проектних і навчальних організацій. На сучасному етапі великий внесок в розрахунок і проектування кріплення стволів внесені роботами Борщевського С.В., Буличова М.С., Дрібана В.О., Дружка Є.Б., Заславського Ю.З., Козела А.М., Левіта В.В., Протосені Л.Г., Фотієвої Н.Н., Ягодкіна Ф.І. та ін. Сучасна школа спеціальних способів проходки розвинена працями Насонова І.Д., Кіпка Е.Я., Должикова П.М., Полозова Ю.А. та ін. Разом з тим, зі збільшенням потужності сучасних шахт, діаметрів стволів, глибини розробки, з освоєнням нових родовищ, питання забезпечення стійкості стволів завжди будуть актуальні.

Другий розділ дисертації присвячений виконанню лабораторних досліджень неоднорідності міцнісних показників матеріалу бетонного кріплення стволів. Показано, що бетон є основним матеріалом постійного кріплення стволів, а його неоднорідність і низька якість – одні з головних причин порушень кріплення.

Метою лабораторних випробувань було визначення ступеня впливу технологічних факторів на неоднорідність міцнісних показників бетону. Дослідження були проведені в лабораторії кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки НГУ і склалися з двох серій випробувань. На першому етапі вивчалася неоднорідність міцності кубів, виготовлених з бетону, який взятий безпосередньо у вибої вентиляційного ствола №3 АП «Шахта ім. О.Ф. Засядька» при його спорудженні. Бетон відбирався в підготовлені форми безпосередньо перед подачею в опалубку. Після заповнення форми покривалися поліетиленовою плівкою, видавалися зі ствола і доставлялися в лабораторію, де випробувалися через 28 діб. Міцність бетону на стиск визначалася за допомогою преса «Теспотест». Всього було випробувано 124 зразка. В результаті були встановлені середні значення міцності і коефіцієнт варіації, що склав майже 30%. Розкид міцності бетону підпорядковується нормальному закону розподілу. Величина коефіцієнта варіації є досить великою і свідчить про те, що значення міцності бетону, що подається в опалубку, не є стабільними і можуть призводити до значного зниження несучої здатності кріплення ствола. На другому етапі були випробувані зразки бетону, виготовленого в лабораторних умовах тієї ж марки бетону. На відміну від попередніх досліджень, до якості підбору, приготування і укладання бетону, пред'являлися підвищені вимоги. Бетонна суміш перемішувалася, ущільнювалася на вібростолі, укладалася в форми без розшарування. Отримані результати показали наступне. Середня міцність бетону на одноосьовий стиск практично не відрізнялася від результатів попереднього етапу досліджень. При цьому неоднорідність бетону істотно знизилася. Коефіцієнт варіації склав всього 11%. Таким чином, показано, що суворе дотримання вимог при приготуванні, транспортуванні, укладанні бетонної суміші, забезпечення сприятливих умов для набору міцності бетоном дозволяють знизити неоднорідність матеріалу кріплення і значення його міцності в 2,5 ... 3 рази.

У третьому розділі наведені результати комплексу натурних досліджень з вивчення якості оконтурювання бічних стін стволів після проведення буропідприємних робіт, а також зроблена оцінка ступеня впливу основних факторів на величину запасу міцності монолітного бетонного кріплення ствола.

Чинними в даний час в Україні нормативними документами встановлена низка вимог до товщини та якості бетонного кріплення. При цьому передбачається, що кріплення не повинне руйнуватися, має стабільні властивості міцності, однакову по периметру товщину. Розрахункова формула для визначення

мінімальної товщини кріплення стволів така:

$$b_p = m_y R_{св} \left(\sqrt{\frac{m_{\sigma_1} m_{\sigma_3} m_{\sigma_7} \sigma_{np}}{m_{\sigma_1} m_{\sigma_3} m_{\sigma_7} \sigma_{np} - 2k_p P} - 1} \right), \quad (1)$$

де P – горизонтальний тиск, кПа; m_y , m_σ , k_p поправочні коефіцієнти; σ_{np} – розрахунковий опір бетону на стиск, кПа; $R_{св}$ – радіус ствола у світлі, м.

На практиці при спорудженні стволів вимоги, перелічені вище, не виконуються, що призводить до зниження міцності кріплення ствола. В першу чергу, це відноситься до якості оконтурювання стін ствола при виконанні буропідричних робіт. Фактичний контур ствола формується абсолютно випадковим чином, при цьому переважно з великими переборами перерізу. В результаті монолітне бетонне кріплення в горизонтальному перерізі являє собою конструкцію неправильної форми зі змінною жорсткістю, як показано на рис. 1, де $R_{св}$ – радіус ствола начорно; R_{np} – радіус ствола в проходці; b_{np} – проектна товщина кріплення; b_p – реальна товщина кріплення; δ – відхилення реальної товщини кріплення від проектної, $\delta = b_p - b_{np}$.

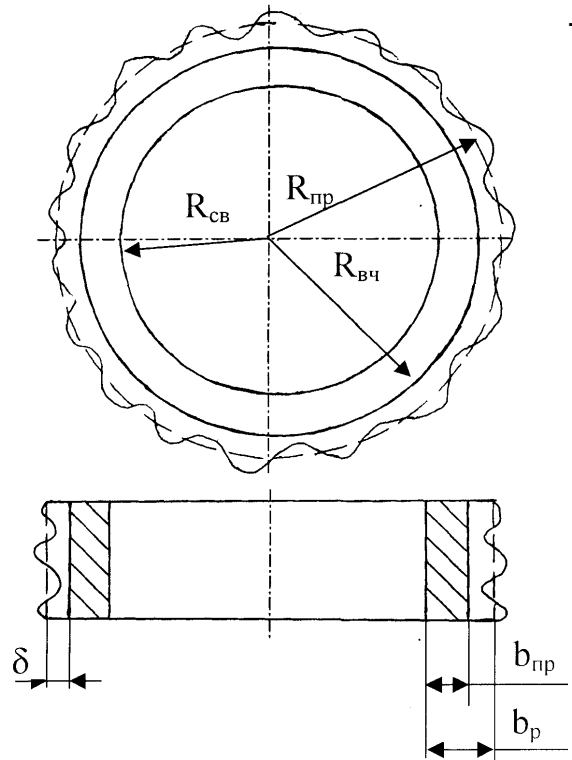


Рис. 1. Реальний подовжній і поперечний перерізи ділянки ствола

Для визначення статистичних характеристик відхилень товщини кріплення від проекту були зібрані і оброблені дані по 20 вертикальних стволах шахт Донбасу. Заміри радіусів виробок виконувалися через 8 ... 9 м. В кожному перерізі відмітки контуру бралися в 16 точках по периметру. Дані систематизовані шляхом побудови інтервальних рядів і гістограм частот для різної міцності вміщуючих порід і показані на рис. 2.

В результаті виконаних досліджень було сформульовано перше наукове положення: при буропідричній технології проведення ствола зі збільшенням міцності порід середня величина переборів зростає за логарифмічною, а їх відносна варіація зростає за експоненціальною залежністю, що дозволяє планувати техніко-економічні показники при проведенні стволів (рис. 3, 4).

$\Delta, м$

$\Delta, м$

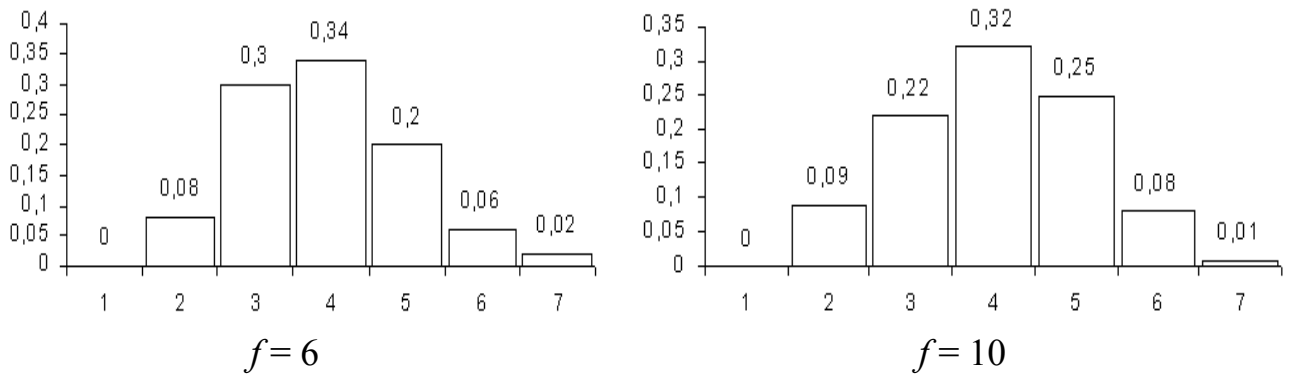


Рис. 2. Гістограми значень переборів в боках стволів (величини збільшення товщини бетонного кріплення) в залежності від міцності порід

Залежність середнього збільшення товщини кріплення δ від міцності порід f має вигляд:

$$\delta = 0,1 \ln f + 0,17, \quad (2)$$

Залежність коефіцієнта варіації товщини кріплення δ від міцності порід f така:

$$\eta_{\text{переб}} = 0,06e^{0,11f}, \quad (3)$$

Для оцінки ступеня впливу основних факторів на величину запасу міцності бетонного кріплення ствола був застосований метод групового врахування аргументів (МГВА). Алгоритм методу дозволяє отримати математичну модель складного об'єкта, яким є кріплення ствола, за допомогою перебору багатьох варіантів за прийнятним критерієм.

За аналогією визначення коефіцієнту запасу міцності K_z (4), де $[P_{np}]$ – граничне навантаження, P_p – розрахункове навантаження, за такої критерій прийнятий умовний коефіцієнт запасу міц-

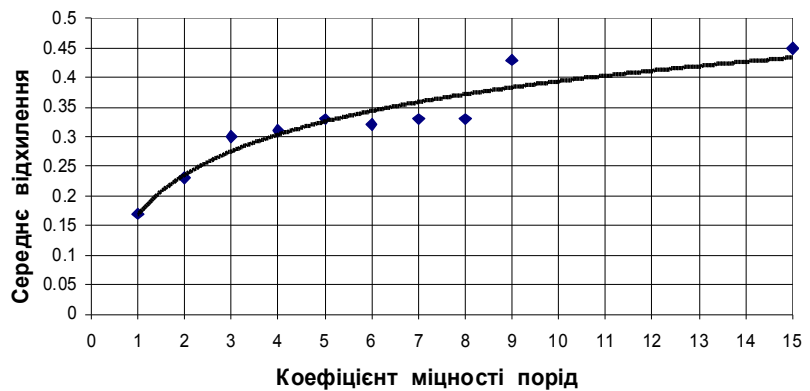


Рис. 3. Залежність середнього відхилення товщини кріплення δ від міцності порід f

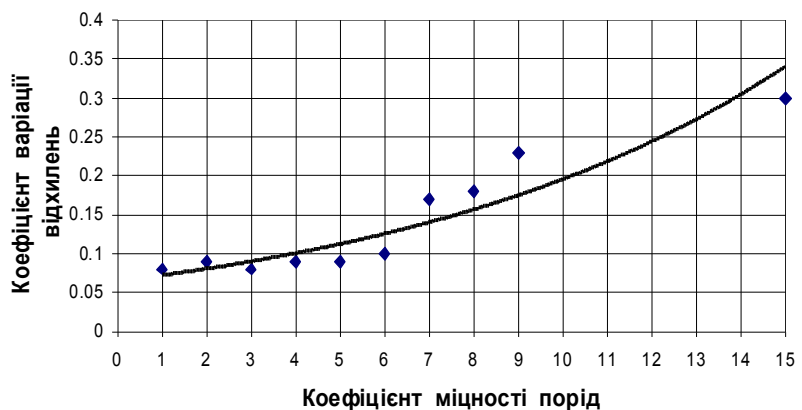


Рис. 4. Залежність коефіцієнта варіації відхилень товщини кріплення δ від міцності порід f

ності кріплення K'_{3y} :

$$K_3 = \frac{[P_{np}]}{P_p} \Rightarrow K'_{3y} = \frac{B_{факт}}{b_p}. \quad (4)$$

Тут $B_{факт} = B_{np} \pm \Delta R_{вч} \pm \Delta R_{св}$ – фактична товщина кріплення ствола з урахуванням нерівностей зовнішнього породного контуру ($delR_{вч}$), еліптичності та ексцентриситету кріплення ($delR_{св}$), визначена за результатами натурних досліджень; $B_{факт}$ – умовний еквівалент гранично допустимої міцності кріплення для конкретного перерізу ствола; b_p – товщина кріплення розрахована за (1).

З урахуванням цього:

$$K'_{3y} = \frac{B_{факт}}{m_y r_0 \left(\sqrt{\frac{m_{\sigma_1} m_{\sigma_3} m_{\sigma_7} R_{np_факт}}{m_{\sigma_1} m_{\sigma_3} m_{\sigma_7} R_{np_факт} - 2k_p P} - 1} \right)}. \quad (5)$$

За вхідні параметри прийнято 18 змінних, серед яких: відхилення породного контуру від проектної величини радіуса в проходці; відхилення внутрішнього контуру від проектного значення (еліптичність та ексцентриситет); коефіцієнт структурного ослаблення (тріщинуватість порід); фактична міцність бетону (кріплення); гідростатичний і гірський тиск; розрахункова товщина кріплення; прийнята товщина кріплення; фактична товщина кріплення з урахуванням еліптичності та ексцентриситету; показник умов розробки та ін.

Вихідною змінною є умовний коефіцієнт запасу міцності кріплення.

Чисельним моделюванням було згенеровано понад 50 моделей. До розгляду були прийняті 6 залежностей, кореляція яких склала не менше 0,9. Аналіз отриманих виразів показав, що найбільший вплив на величину коефіцієнта запасу надають відхилення породного контуру і фактична міцність бетону. Інші фактори систематичного впливу не роблять.

В четвертому розділі виконане чисельне моделювання геомеханічної системи «монолітне бетонне кріплення-приконтурний породний масив» протяжної ділянки вертикального ствола з урахуванням комплексу основних факторів, що впливають.

Радіальні навантаження на кріплення ствола в кожному поперечному перерізі розподілені нерівномірно. Вивчення напружено-деформованого стану (НДС) кріплення, що має геометричні недосконалості внутрішнього і зовнішнього контурів, є складною задачею. Її рішення було виконано із застосуванням програмного комплексу «Phase 2» компанії Rockscience. Прийнятий комплекс призначений для дослідження НДС об'єктів, розташованих в породному масиві. За критерій оцінки стану породного середовища прийнятий узагальнений критерій Хоека-Брауна. Розрахункова схема та скінчено-елементна модель наведені на рис. 5. Властивості гірських порід і бетонного кріплення наведені в табл. 1.

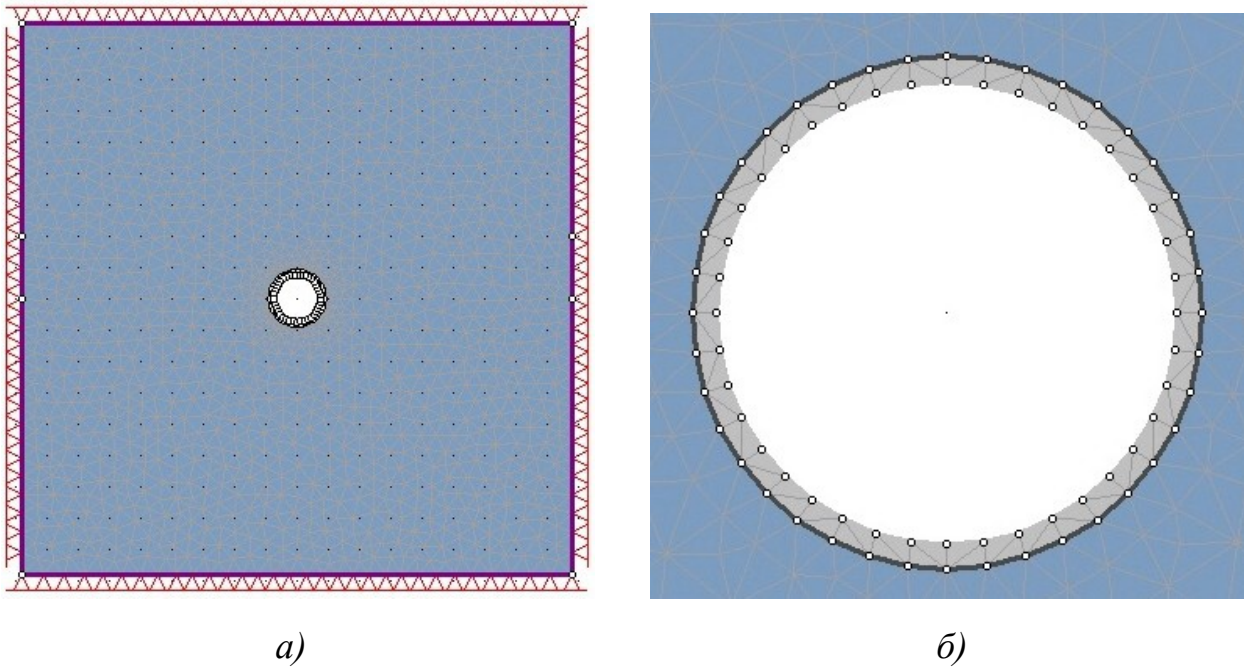


Рис. 5. Розрахункова схема (а) та скінчено-елементна модель (б)

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості порід та кріплення, прийняті в розрахунках

Матеріал	Модуль Юнга, E , МПа	Коефіцієнт Пуассона, μ	Межа міцності на стиск, R_c , МПа	Об'ємна вага, γ , кН/м ³
Міцний алевроліт	$25,0 \cdot 10^3$	0,34	80,0	27,0
Аргіліт	$6,0 \cdot 10^3$	0,36	60,0	24,0
Вуглисті сланець	$2,2 \cdot 10^3$	0,40	20,0	20,0
Бетон класу В25	$30,0 \cdot 10^3$	0,20	25,0	25,0

На першому етапі вивчався вплив нерівнокомпонентного напруженого стану породного масиву на стан кріплення круглої форми. Нерівнокомпонентність напружень оцінювалася коефіцієнтом бічного розпору, величина якого змінювалась від 1,0 до 0,25. Обробка отриманих результатів полягала у визначенні коефіцієнта стійкості матеріалу кріплення і породного масиву – strength-фактора, що визначається в програмі «Phase 2» (рис. 6). Strength-фактор це деяка величина, еквівалентна коефіцієнту стійкості. Чим більше одиниці його значення, тим більший запас міцності має ділянка кріплення ствола в даних умовах. Отримані результати показують, що зі збільшенням глибини стан кріплення погіршується, і воно виявляється неприйнятним для глибини 1200 м, перебуваючи в критичному стані вже з глибини 800 м (рис.7). Ще в більш важких умовах працює бетонне кріплення в слабких породах, що вимагає застосування матеріалу більшої міцності.

На другому етапі розглядався ствол з еліптичним кріпленням. Результати цих досліджень, показали, що відхилення форми контуру кріплення від ідеально круглої практично не позначається на його стійкості.

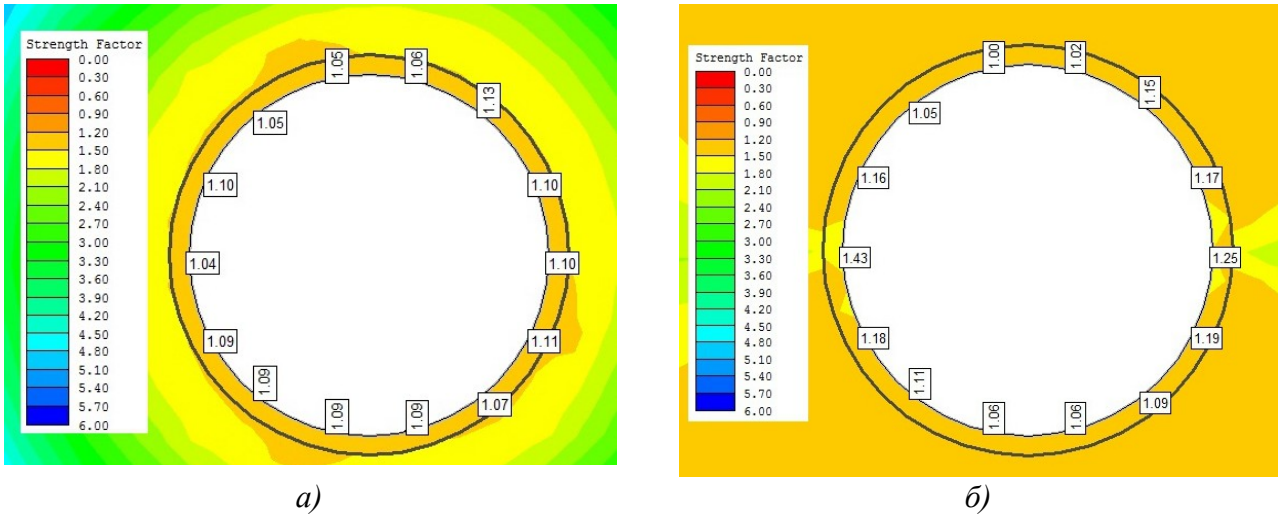


Рис. 6. Розподіл k_y по внутрішньому контуру кріплення, при глибині розташування ділянки ствола $H = 600$ м. Коefіцієнт бокового розпору λ : а – 1,0; б – 0,5

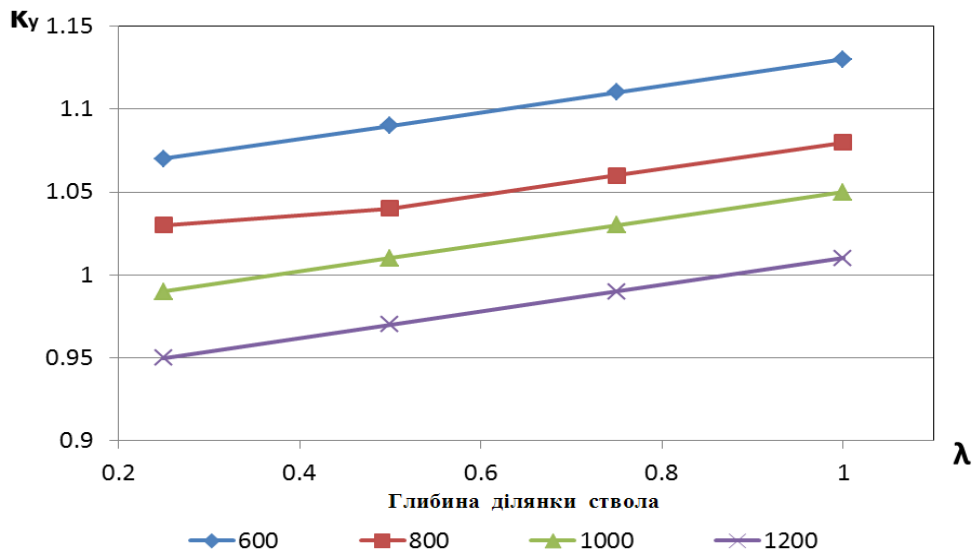


Рис. 7. Залежності розподілу k_y бетонного кріплення ствола від глибини H і коefіцієнта бічного розпору λ

Серія чисельних досліджень для нерівного контуру ствола (третій етап досліджень) виконана з використанням значень реальних відхилень форми породного контуру, отриманих за даними натурних досліджень. Результати чисельного моделювання підтвердили встановлені раніше дослідниками зниження стійкості породного контуру в місцях переборів і більшу стійкість в місцях недоборів (рис. 8). Моделювання виконано для різного ступеня нерівномірності відхилень зовнішнього контуру ствола. Коefіцієнти варіації V змінювалися в межах від 15 до 31% (рис. 9). Отримані результати показали, що залежність кількості точок руйнування контуру кріплення n_p від коefіцієнта варіації V величини відхилень фактичного контуру ствола в проходці має експоненціальний вигляд (рис. 10):

$$n_p = \frac{25.6}{1 + 400 \cdot \exp(-0.37 \cdot V)} \quad (6)$$

конструкції зарядів, при яких зовнішній контур був би більш гладким, а коефіцієнт варіації відхилень його від проектного контуру був би мінімальним.

Якість оконтурювання ствола під час проведення буропідричних робіт в основному визначається дією контурних шпурів. Значна концентрація надлишкової енергії ВВ в контурних шпурах викликає додаткові перебори і руйнування боків в стволах. Подвійний вплив вибуху в зоні розташування стаканів призводить до переборів породи саме в цій зоні. Між тим, часто при проходженні стволів існує практика збільшення зарядів саме в нижній частині шпуру з метою збільшення КВШ, кращого дроблення породи для підвищення продуктивності й повноти механізованого навантаження. Для усунення цих недоліків було запропоновано спосіб відбійки породи з відставанням дна контурних шпурів від вибою. При цьому довжина контурних шпурів за рахунок переміщення їх дна із зони найбільш «затиснутих» порід зменшена і дорівнює довжині заходки. Крім того ці шпури мають зменшений і розосереджений заряд. Рациональна висота уступу і ступінь зниження динамічної дії внаслідок вибуху зарядів контурних шпурів на приконтурний масив ствола, визначалися чисельним методом досліджень із застосуванням програми «Phase 2». Задача вирішена в плоскій постановці (рис. 11). Оскільки метою досліджень було вивчення ступеня впливу тільки контурних шпурів, вплив вибухової дії врубових і відбійних шпурів виключався.

Результати чисельного моделювання одного з етапу досліджень наведені на рис. 12.

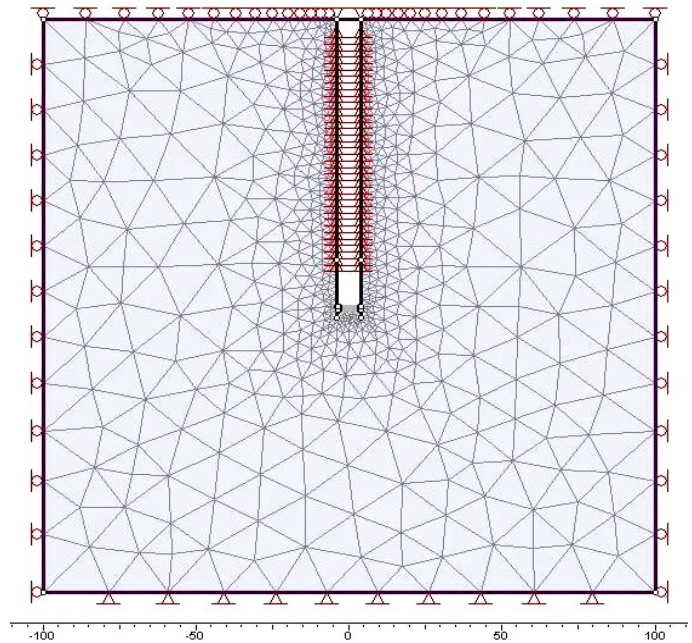


Рис. 11. Розрахункова схема і скінченно-елементна модель ствола

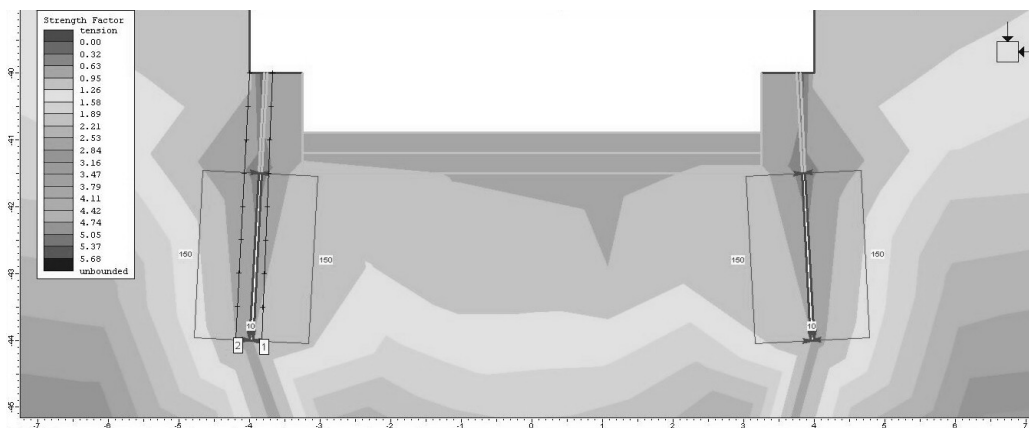


Рис. 12. Розподіл strength-фактора в призабійній частині ствола після підривання контурних шпурів. Висота уступу $h_v = 0,9$ м

На рис. 13 наведені залежності k_y від величини уступу і відстані від площини вибою по довжині контурного шпуру.

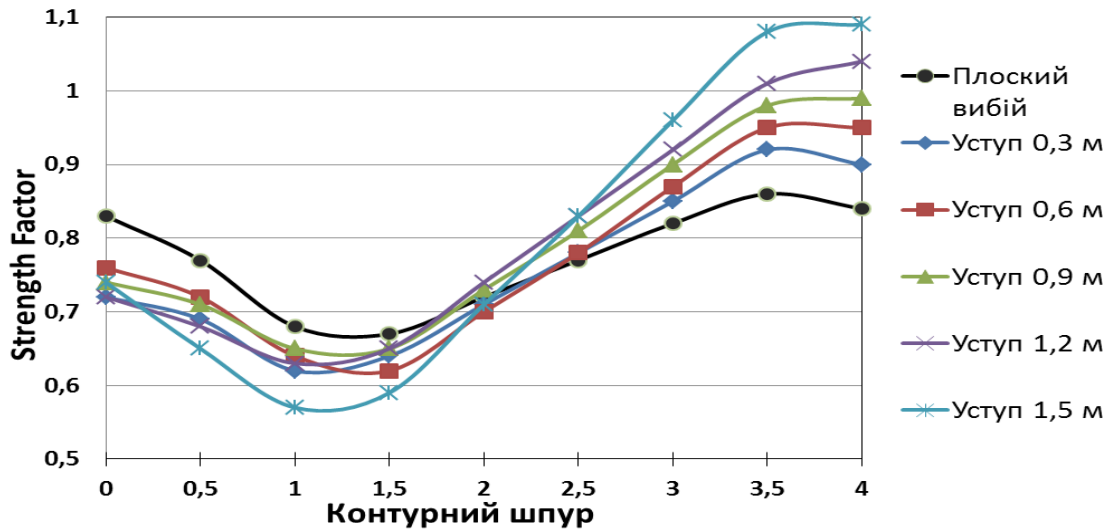


Рис. 13. Залежність коефіцієнта стійкості (strength-фактор) від висоти уступу по глибині шпуру (0 – устя шпуру, 4 – дно шпуру)

Виконані дослідження показали, що при уступній формі вибою ствола (відставанні комплекту контурних шпурів від основної групи), знижується динамічний вплив на стінки ствола від вибуху контурних шпурів у нижній частині заходки. Максимальний ефект при такій формі вибою для ствола діаметром начорно $\varnothing = 8$ м досягається при висоті уступу $h_y = 0,9$ м.

Залежність коефіцієнта стійкості (strength-фактора) від висоти уступу носить лінійний характер (рис. 14) і описується залежністю:

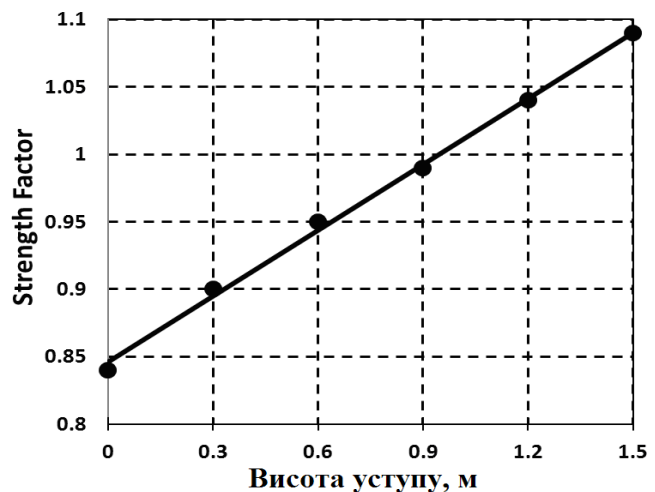


Рис. 14. Залежність коефіцієнта стійкості (strength-фактора) від висоти уступу

$$k_y = 0,16 h_y + 0,85. \quad (6)$$

Отримані результати стали основою другого наукового положення.

Для запропонованого способу відбійки порід був розроблений паспорт БПР, наведений на рис. 15, який пройшов промислово перевірку при проходці повітряподаючого ствола № 3 ШУ «Покровське».

Оцінка стану ствола показала, що коефіцієнт варіації відхилень координат контуру ствола зменшився в 2 рази, а величина коефіцієнта надлишку перерізу (КНП) знизилася з 25% до 9%. Очікуваний економічний ефект від застосування нового способу відбійки порід складе 7264 грн. на 1 м ствола.

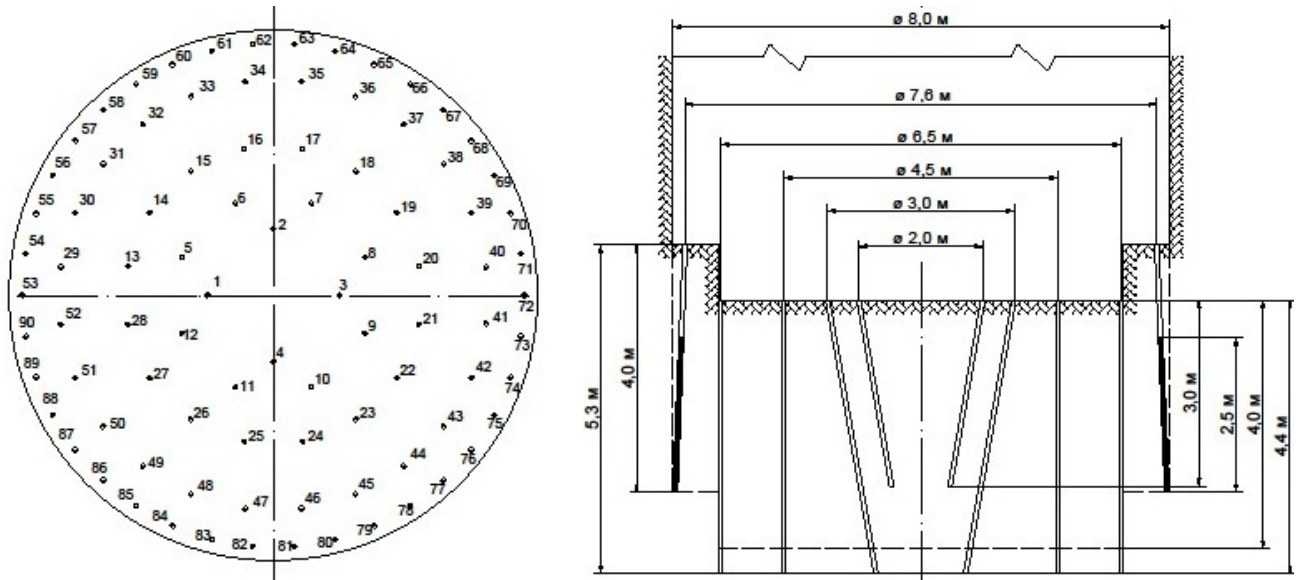


Рис. 15. Запропонований паспорт БПР для ПВС № 3 ШУ «Покровське».

ВИСНОВОК

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей зміни випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень і міцність монолітного бетонного кріплення в стволах, вирішена актуальна науково-технічна задача, яка полягає в обґрунтуванні параметрів нової схеми відбійки порід з уступною формою вибою, при якій підвищується стійкість породних оголень і постійного кріплення, що має важливе значення для забезпечення стійкості і безремонтної підтримки стволів в процесі експлуатації.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Виконаний аналіз і узагальнення результатів досліджень і досвіду проектування, спорудження і підтримки вертикальних стволів, що дозволило сформулювати мету, ідею роботи і основні задачі досліджень, які полягають у вивченні основних факторів і вдосконаленні проектних і технічних рішень стосовно суміщеної технологічної схеми проходки стволів із застосуванням буропідривного способу руйнування порід у вибої і кріпленням з монолітного бетону.

2. Лабораторними дослідженнями показано, що дотримання вимог при приготуванні, транспортуванні та укладанні бетонної суміші, забезпечення сприятливих умов для набору міцності бетоном дозволяють знизити неоднорідність бетонної суміші (коефіцієнта варіації міцнісних показників) в 2,5...3 рази.

3. Встановлено, що товщина бетонного кріплення має мінливість, зумовлену характером величини переборів при спорудженні ствола. Зі збільшенням міцності порід середня величина переборів зростає за логарифмічною, а їх відносна варіація зростає за експоненціальною залежністю.

4. Доведено, що найбільший вплив на величину коефіцієнта запасу міцності кріплення ($K'_{зп}$) надають: відхилення породного контуру від проекту і фактична міцність бетону. Інші фактори систематичного впливу не роблять.

5. Встановлено, що ступінь зламності зовнішнього контуру кріплення n_p підвищується за експоненціальним законом зі збільшенням коефіцієнта варіації V величини відхилень фактичного контуру ствола, що призводить до зростання кількості точок руйнування бетонного кріплення і потребує обґрунтування раціональних параметрів виїмки порід за технологією контурного підривання.

6. Запропонована нова схема відбійки порід з уступною формою вибою. Перевагою даної схеми є підвищення якості оконтурювання стін ствола, зменшення руйнування бокових порід в нижній частині заходки за рахунок зміщення їх дна з найвіддаленішої від устя шпурів зони, зменшення відстані до оголеної поверхні при уступній формі вибою і використання розосередженого заряду.

7. Розроблена чисельна модель призабійної ділянки ствола, що дозволяє визначати оптимальну висоту уступу при заданих параметрах буропідривної технології проходки ствола, включаючи вплив вибуху зарядів контурних шпурів.

8. За результатами чисельного моделювання встановлено, що максимальний ефект при уступній формі вибою для ствола діаметром начорно $\varnothing = 8$ м досягається при висоті уступу $h_y = 0,9$ м. Залежність коефіцієнта стійкості від висоти уступу має лінійний характер. Для максимального зниження руйнувань на контурі ствола в донній частині контурних шпурів, k_y повинно бути близьким до 1,0 і не перевищувати це значення.

9. Виконана дослідно-промислова перевірка нового способу відбійки порід при проходженні повітряподаючого ствола №3 на ШУ «Покровське». Застосування способу дозволило знизити перебори порід в нижній частині заходки, поліпшити якість оконтурювання стін ствола, зберегти високий КВШ і темпи проходки. Коефіцієнт варіації значень відхилень координат контуру ствола V зменшився з 33% до 16% (в 2 рази), а величина КНП знизилася з 25% до 9%.

10. Очікуваний економічний ефект від використання нового способу відбійки порід при проведенні ствола за рахунок зниження об'єму навантаження породи та об'єму бетону для постійного кріплення, зменшення трудомісткості і часу вантаження і бетонування ствола складає 7264 грн. на 1 м ствола.

Основні результати досліджень опубліковані у наступних роботах:

1. Янкин А.Е. Состояние и перспективы применения тубинговой крепи при сооружении вертикальных шахтных стволов / А.Н. Роевко, А.Е. Янкин // Науковий вісник НГУ. – 2002. – № 3. – С. 8-10.
2. Янкин А.Е. Современное состояние и проблемы расчета крепи вертикальных шахтных стволов // Науковий вісник НГУ. – 2003. – № 2. – С. 34-37.
3. Янкин А.Е. К вопросу о характеристиках отклонений от проекта фактической толщины крепи вертикальных шахтных стволов / Е.А. Сдвижкова, В.В. Левит, С.В. Борщевский, А.Е. Янкин // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. – 2004. – Вип. 72. – С. 27-33.
4. Янкин А.Е. Напряженно-деформированное состояние приствольного массива в зонах геологических нарушений / В.В. Левит, С.В. Борщевский, А.Е. Янкин // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 9. – С. 46-52.

5. Янкин А.Е. Влияние технологии на интенсификацию работ при сооружении стволов / С.В. Борщевский, А.Е. Янкин // Известия Тульского государственного университета: Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». – 2004. – Вып. 2. – С.57-62.
6. Янкин А.Е. Исследование напряженно-деформированного состояния крепи вертикальных стволов на численных моделях / А.Е. Янкин, С.Н. Гапеев, С.В. Борщевский // Проблеми гірського тиску. – Донецьк, ДонНТУ. – 2006. – №14. – С. 278-290.
7. Янкин А.Е. Влияние формы контура вертикального ствола на устойчивость крепи / А.Е. Янкин, С.Н. Гапеев // Геотехническая механика. – Днепрпетровск: ИГТМ НАН Украины. – 2006. – № 62. – С. 9-17.
8. Янкі́н О.Є. Обґрунтування нової схеми вибухової відбійки порід при проведенні вертикальних стволів шахт / О.В. Солодянкін, О.Є. Янкі́н // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М.Остроградського. – 2014. – № 3 (86). – С. 125-131. (Міжнародні наукометричні бази даних «INDEX COPERNICUS», «POLISH SCHOLARLY BIBLIOGRAPHY» та «INSPEC»)
9. Янкин А.Е. Повышение качества оконтуривания вертикальных стволов при проходке буровзрывным способом / А.В. Солодянкин, А.Е. Янкин // Розробка родовищ. Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – С. 229-237.
10. Янкин А.Е. Реляционные базы данных при автоматизации расчетов в шахтном строительстве / С.В. Борщевский, К.Н. Лабинский, А.Е. Янкин // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Тезисы докладов студ. науч.-техн. конф. – Донецк: «Норд-Пресс», 2002. – С. 18-19.
11. Янкин А.Е. О необходимости перехода к вероятностно-статистическим моделям при расчете крепей вертикальных шахтных стволов / А.Е. Янкин, А.А. Бородуля // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: Материалы междунар. студ. науч.-техн. конф. – Донецк: «Норд-Пресс», 2003. – С. 12.
12. Янкин А.Е. Оценочные критерии выбора технологии сооружения вертикальных стволов шахт / С.В. Борщевский, С.Н. Гапеев, А.Е. Янкин // Прогрессивные технологии строительства, безопасности и реструктуризации горных предприятий: Материалы региональной научно-практич. школы-семинара. 24-26 ноября 2005 г. – Донецк: Норд-пресс, 2006. – С. 186-195.
13. Янкин А.Е. Лабораторные исследования степени неоднородности бетона и его прочности / А.Е. Янкин // Перспективы освоения подземного пространства: Тезисы докладов 1-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. 18-20 апреля 2007 г. – Днепрпетровск: НГУ, 2007. – С. 55-56.
14. Янкин А.Е. Связь формы контура вертикального ствола и устойчивости его крепи / С.Н. Гапеев, А.Е. Янкин, И.В. Сидельник // Перспективы освоения подземного пространства: Материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. 23-25 апреля 2008 г. – Днепрпетровск: НГУ, 2008. – С. 15-19.
15. Янкин А.Е. Оценка отклонений толщины крепи вертикальных шахтных стволов от проектных размеров / А.Е. Янкин // Перспективы развития горного дела и подземного строительства: материалы VI-й междунар. науч.-

техн. конф. «Энергетика. Экология. Человек» (конференция молодых ученых – аспирантов и магистрантов), 22-24 мая 2014 г. – Киев: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2014. – С. 68-73.

16. Янкин А.Е. Постоянная крепь при сооружении вертикальных шахтных стволов: состояние и перспективы применения / А.Н. Роевко, А.Е. Янкин // Факультет строительных геотехнологий (юбилейный выпуск). – Днепропетровск, РИК НГА Украины. – 2001. – С. 45-48.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1, 11, 12, 16] – аналіз стану стволів, постановка науково-технічного завдання, мети і завдань досліджень; [10] – постановка задачі ймовірно-статистичного аналізу даних шахтних вимірювань; [3] – статистична обробка даних шахтних вимірювань; [4] – оцінка ступеня впливу гірничо-геологічних чинників на стійкість ствола; [6, 7, 8, 9, 14] – постановка задачі, виконання чисельного моделювання, обробка та аналіз результатів; [5] – оцінка ступеня впливу технологічних факторів на стійкість ствола.

АНОТАЦІЯ

Янкін О.Є. Вдосконалення параметрів буропідривної технології проведення вертикальних стволів для підвищення стійкості породних оголень і кріплення. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.04 – «Шахтне та підземне будівництво». Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України, Дніпропетровськ, 2014.

Дисертація присвячена вирішенню актуального науково-технічного завдання вдосконалення параметрів буропідривної технології проведення вертикальних стволів за суміщеною схемою проходки для підвищення стійкості породних оголень і міцності монолітного бетонного кріплення.

Комплекс виконаних натурних та аналітичних досліджень дозволив встановити закономірності зміни випадкових факторів, що визначають стійкість породних оголень і міцність монолітного бетонного кріплення в стволах.

Запропонована нова схема відбійки порід з уступною формою вибою, перевагою якої є зменшення руйнування бокових порід у нижній частині заходки і, для конкретних умов проходки ствола, обґрунтовані ефективні її параметри.

Розроблені паспорт буропідривних робіт для уступної форми вибою ствола і «Рекомендації щодо зниження величини руйнувань контуру ствола, переборів і об'єму бетону» впроваджені при проведенні повітряподаючого ствола №3 ШУ «Покровське».

Ключові слова: вертикальний ствол, монолітне бетонне кріплення, перебори, нерівності контуру, чисельні методи досліджень, коефіцієнт запасу, буропідривні роботи, параметри БПР

АННОТАЦИЯ

Янкин А.Е. Совершенствование параметров буровзрывной технологии проведения вертикальных стволов для повышения устойчивости породных обнажений и крепи. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.04 – «Шахтное и подземное строительство». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» Министерства образования и науки Украины, Днепропетровск, 2014.

Диссертация посвящена решению актуального научно-технического задания совершенствования параметров буровзрывной технологии проведения вертикальных стволов по совмещенной схеме проходки для повышения устойчивости породных обнажений и прочности монолитной бетонной крепи.

Лабораторными исследованиями показано, что соблюдение требований при приготовлении, транспортировке и укладке бетонной смеси, обеспечение благоприятных условий для набора прочности бетоном позволяют снизить неоднородность бетонной смеси (коэффициента вариации) в 2,5-3 раза.

Установлено, что толщина бетонной крепи обладает изменчивостью, обусловленной характером величины переборов при сооружении крепи. С увеличением крепости пород средняя величина переборов возрастает по логарифмической зависимости, а их относительная вариация возрастает по экспоненциальной зависимости.

Доказано, что наибольшее влияние на величину коэффициента запаса прочности крепи оказывают: отклонение породного контура от проекта и фактическая прочность бетона. Остальные факторы систематического воздействия не оказывают.

Установлено, что степень изломанности внешнего контура крепи n_p повышается по экспоненциальному закону с увеличением коэффициента вариации V величины отклонений фактического контура ствола, что приводит к росту количества точек разрушения бетонной крепи и требует обоснования рациональных параметров буровзрывных работ по технологии контурного взрывания.

Предложена новая схема отбойки пород с уступной формой забоя. Преимуществом данной схемы является повышение качества оконтуривания стен ствола, уменьшение разрушения боковых пород в нижней части оконтуривающих шпуров за счет смещения их дна из самой удаленной от устья шпуров зоны, уменьшения расстояния до обнаженной поверхности при уступной форме забоя и увеличения длины заряда при рассредоточенной его форме.

Разработана численная модель призабойного участка вертикального ствола, позволяющая определять оптимальную высоту уступа при заданных параметрах буровзрывной технологии проходки ствола, включая динамическое воздействие взрыва зарядов оконтуривающих шпуров.

По результатам численного моделирования установлено, что максимальный эффект при уступной форме забоя для ствола диаметром вчерне $\varnothing = 8$ м достигается при высоте уступа $h_y = 0,9$ м. Зависимость коэффициента устойчивости от высоты уступа имеет линейный характер. Для максимального снижения разрушений на контуре ствола в донной части оконтуривающих шпуров, k_y должно быть близким к 1,0 и не превышать это значение.

Выполнена опытно-промышленная проверка предложенного способа отбойки пород при проходке воздухоподающего ствола № 3 на ШУ «Покровское». Применение предложенных параметров позволило снизить переборы пород в нижней части заходки, улучшить качество оконтуривания стен ствола, сохранить высокий КИШ и темпы проходки ствола. Коэффициент вариации значений отклонений координат контура ствола уменьшился с 33% до 16% (в 2 раза), а величина КИС снизилась с 25% до 9 %.

Ожидаемый экономический эффект от использования нового способа отбойки пород за счет снижения объема погрузки разрушенной породы, снижения объема бетона для постоянной крепи и уменьшения трудоемкости и времени погрузки и бетонирования составит 7264 грн. на 1 м ствола.

Ключевые слова: вертикальный ствол, монолитная бетонная крепь, переборы, неровности контура, численные методы исследований, коэффициент запаса, буровзрывные работы, параметры БВР

ABSTRACT

Yankin O.Ye. Improving the parameters of drilling and blasting technology of driving vertical shafts to increase the stability of rock outcrops and lining. - Manuscript.

Thesis for the obtaining the degree of Candidate of Technical Sciences on specialty 05.15.04 - "Mine and underground construction." State Higher Educational Institution "National Mining University" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dniepropetrovs'k, 2014.

Thesis deals with the current scientific and technical task of improving the parameters of drilling and blasting technology of driving the vertical shafts for a combined scheme of penetration to increase the stability of rock outcrops and the strength of monolithic concrete lining.

It is made the complex of field and analytical studies which have revealed patterns of change in the random factors that determine the stability of the rock outcrops and strength of reinforced concrete lining in the shafts.

It is proposed a new scheme of breaking rocks with benching shape face, the advantage of which is to reduce the destruction of the wall rocks in the bottom of the stope and, for the specific conditions of penetration of the shaft, its reasonable effective parameters are substantiated.

The passports of blasting the ledge forms of the shaft face are designed and "Recommendations to reduce the magnitude of the devastation of shaft contour,

strumming and volume of the concrete" are introduced during the drive of air supply shaft №3 of Mine office "Pokrovs'ke".

Keywords: vertical shaft, monolithic concrete lining, strumming, contour irregularities, numerical methods of research, the safety factor, blasting, drilling and blasting parameters.

ЯНКІН Олександр Євгенович

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРОПІДРИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ПРОВЕДЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТВОЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙ-
КОСТІ ПОРОДНИХ ОГОЛЕНЬ І КРІПЛЕННЯ

(Автореферат)

Підп. до друку 24.10.14. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. №

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19