

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

КОРОЛЬ ГАННА ЮРІЇВНА



УДК 622.234.5

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗДИМАННЯ ПОРІД ПІДОШВИ
В ПРИСІЧНИХ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБКАХ
ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Спеціальність 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»

**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 **Шашенко Олександр Миколайович**, завідувач 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 Кіпко Олександр Ернестович**, доцент кафедри гірництва Антрацитівського факультету гірництва і транспорту Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля Міністерства освіти і науки України (м. Антрацит);

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Слащов Ігор Миколайович**, старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ).

Захист відбудеться “ **5** ” **грудня** 2014 р. о **12.00** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. (0562)-47-24-11.

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

Автореферат розісланий “ 5 ” листопада 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кам'яне вугілля є основною енергетичною сировиною в Україні. За оцінками його загальні розвідані запаси складають близько 117 млрд. тонн, за якими Україна посідає восьме місце у світі. Проблемами вугільної промисловості є складні гірничо-геологічні умови, мала потужність пластів, велика глибина розробки, слабка стійкість вміщуючих порід, висока газоносність, схильність до раптових викидів газу, вугілля, породи. Кут падіння пластів коливається від 0° до 80° , середня глибина перевищує 700 м, а максимальна вже сягає 1400 м. Зростають витрати і трудомісткість підтримання та ремонту капітальних і підготовчих виробок. При цьому основними процесами при забезпеченні стійкості виробок є ліквідація наслідків здимання порід підосви та заміна деформованого кріплення. Все це негативно відбивається на собівартості вугілля, що видобувається, та, як наслідок, на його конкурентоспроможності. Особливо гостро ці недоліки стають у періоди профіциту вугілля, коли його збут потребує максимального зниження ціни. Таким чином, вивчення закономірностей протікання геомеханічних процесів навколо протяжних виробок на глибоких горизонтах шахт в умовах підвищеного гірничого тиску з метою покращення технології видобутку вугілля і зниження його собівартості є важливим науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Робота відповідає основному напрямку наукових досліджень кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Національного гірничого університету, що виконуються за держбюджетною темою ГП-410 «Геомеханічне обґрунтування підземної технології інтенсивного видобутку вугілля з урахуванням особливостей геологічного середовища» (№ держреєстрації 0108U000541), та госпдоговірною темою «Разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости вентиляционного штрека 8 северной лавы уклона пласта m_5^{1b} горизонта 450 м шахты «Добропольская» при проведении его в присечку к 7 северному конвейерному штреку уклона пласта m_5^{1e} горизонта 450 м навстречу движущемуся очистному забою 7 северной лавы уклона пласта m_5^{1e} горизонта 450 м» (2013).

Мета роботи полягає у розробці чисельної моделі геомеханічної системи «лава-парні штреки, що враховує деформаційні процеси у підосві виробки, та в обґрунтуванні на цій основі таких параметрів комбінованого кріплення підготовчих виробок, при яких витрати на їх підтримку будуть суттєво знижені.

Основна ідея роботи полягає у використанні закономірностей протікання геомеханічних процесів навколо геотехнічної системи «лава-парні виробки» при обґрунтуванні параметрів комбінованого кріплення.

Об'єктом досліджень є геомеханічні процеси, що протікають у геотехнічній системі «лава-парні виробки».

Предметом досліджень є напружено-деформований стан породного масиву навколо геотехнічної системи «лава-парні виробки».

Для досягнення поставленої мети в дисертації сформульовані та виконані наступні **основні задачі досліджень**:

- огляд і аналіз тенденцій у сфері видобутку вугілля;
- аналіз собівартості вугілля, що видобувається.;
- аналітичні дослідження геотехнічної системи «лава-парні виробки»;
- натурні дослідження у присічних підготовчих виробках;
- розробка чисельної моделі геомеханічної системи «лава-парні штреки, що враховує деформаційні процеси у підшві виробки;
- розробка рекомендацій щодо ефективної конструкції комбінованого кріплення;
- оцінка передбачуваного економічного ефекту від впровадження рекомендацій.

Методи досліджень. Поставлена в роботі мета досягнута шляхом комплексного підходу, що включає: узагальнення інформації щодо стійкості підготовчих виробок вугільних шахт, аналіз структури собівартості вугілля, що видобувається, натурні дослідження, чисельне моделювання геомеханічного стану підготовчих виробок з великими деформаціями порід підшви на різних етапах впливу очисних робіт, економічний аналіз.

Наукові положення, що захищаються у дисертації:

1. Адекватна втрата пружно-пластичної стійкості приконтурного масиву навколо одиночної виробки виникає на чисельній моделі при величині штучного збурюючого вертикального переміщення центральної точки поверхні підшви, величина якого дорівнює 0,02 м, що викликає стрибкоподібне збільшення в 3-4 рази розміру зони непружних деформацій у породах підшви.

2. Здимання порід у підземних виробках, що знаходяться на деякій критичній глибині, є біфуркацією напружено-деформованого стану породного середовища, в результаті якого виникає швидка деструкція масиву вертикально вниз зі сторони підшви при незмінних параметрах зони непружних деформацій у боках і покрівлі, що дозволяє на основі закономірностей цього процесу обґрунтовано обчислювати навантаження на комбіноване кріплення і конструювати його структурні елементи.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше на основі біфуркаційної теорії здимання порід підшви у гірничих виробках отримана залежність, яка дозволяє обчислювати критичну глибину, починаючи з якої розвивається процес здимання порід підшви, що дозволяє заделегіть планувати способи забезпечення стійкості підземних виробок та обсяги ремонтних робіт;

- вперше на основі чисельного аналізу геомеханічних явищ, які протікають у породах підшви підготовчих виробок, доведено, що модель процесу здимання порід підшви є адекватною натурним деформаціям, а методика моделювання може використовуватись для розробки способів забезпечення їх стійкості;

- для умов ПСП «Шахта «Добропільська» на основі чисельного моделювання і натурних вимірів встановлені закономірності протікання

геомеханічних процесів у породах підосви виробок, що пройдені вприсічку і знаходяться в зоні впливу лави.

Наукове значення роботи полягає у визначенні параметрів чисельної моделі процесу здимання порід підосви у виробках глибоких вугільних шахт та отриманні на цій основі закономірностей взаємодії комбінованого кріплення з породним масивом.

Практичне значення роботи полягає в обґрунтуванні параметрів комбінованого кріплення присічних виробок в умовах активного здимання порід підосви, що дозволяє підвищити їх стійкість в зоні впливу вибою лави.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується застосуванням апробованих методів досліджень, задовільним збігом (до 85 %) результатів теоретичних і експериментальних досліджень, представницьким обсягом натурних вимірів.

Реалізація роботи в промисловості. Результати досліджень у вигляді «Рекомендацій...» були використані при розробці паспорту кріплення 8-го вентиляційного штреку 8-ї північної лави ПСП «Шахта «Добропільська» ВАТ «ДТЕК Добропіллявугілля» з умовним економічним ефектом, що склав 785 грн./м.

Особистий вклад автора полягає у формулюванні мети і задач досліджень, ідеї роботи, її основних наукових положень, висновків і рекомендацій, у плануванні і безпосередньої участі в натурних та аналітичних дослідженнях.

Апробація результатів досліджень. Основні результати досліджень доповідались, обговорювались і були схвалені на міжнародних науково-практичних конференціях «Форум гірників» (Державний ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ, 2013), «Інноваційні технології і проекти у гірничо-металургійному комплексі, їх наукове та кадрове супроводження» (Казахський національний технічний університет ім. К.І. Сатпаєва, Алмати, 2014), всеукраїнській науково-практичній Інтернет - конференції з міжнародною участю «Нові матеріали і перспективні технології, охорона праці та професійна освіта» (ДЗ «Луганський національний університет» ім. Т.Г. Шевченка, Луганськ, 2014), VII Міжнародній науково-практичній конференції «Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів Європи та СНД» (Краснодонський факультет інженерії і менеджменту Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, Краснодон, 2014) та на міжкафедральних семінарах Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (2011 -2014 р.р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладені в 9 наукових працях, у тому числі 5 статей в спеціалізованих наукових виданнях і 4 у матеріалах науково-технічних конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літературних джерел з 131 найменування на 14 сторінках і 4 додатків на 16 сторінках. Робота викладена на 109 сторінках машинописного тексту, містить 80 рисунків, 17 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 181 сторінку.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Кам'яне вугілля залишається основною енергетичною сировиною в Україні. Його розвідані запаси становлять близько 117 млрд. тонн. Проблеми, з якими стикається вітчизняна вугільна промисловість, є складні гірничо-геологічні умови, велика глибина розробки пластів, висока їх газоносність, схильність до раптових викидів вугілля, породи, газу. Останнім часом до цього переліку додався профіцит вугілля, як наслідок кризових явищ у світовій та вітчизняній економіці.

Все це змушує виробників незалежно від форми власності підприємств шукати шляхи зниження собівартості вугілля з метою підвищення його конкурентоспроможності.

На рис. 1 показана динаміка собівартості за останні чотири роки для державного підприємства шахта ім. А.Г. Стаханова ДП «Красноармійськвугілля» і недержавного підприємства «Шахта Добропільська» ВАТ «ДТЕК Добропіллявугілля».

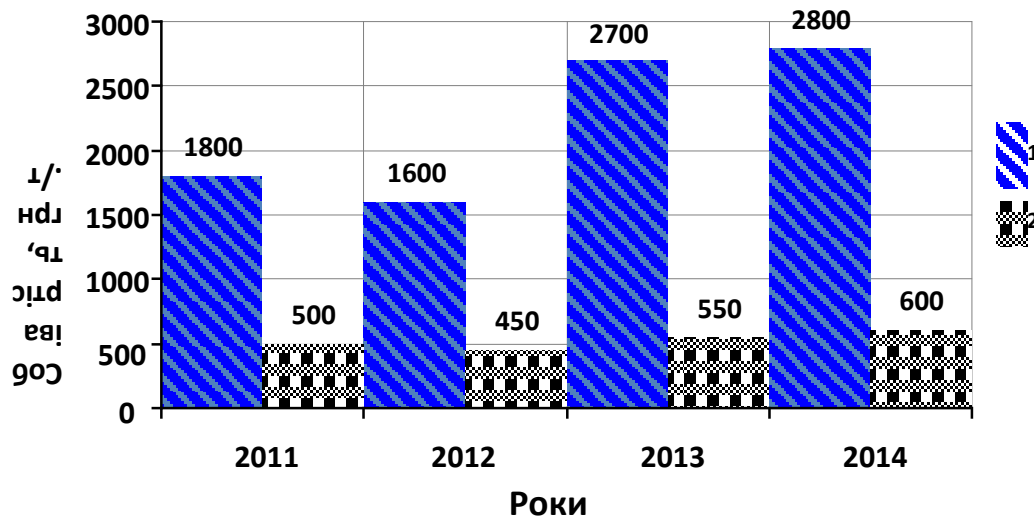


Рис. 1. Динаміка собівартості вугілля:

1 - шахта ім. А.Г. Стаханова; 2 - шахта «Добропільська»

З неї випливає, що собівартість видобутку на державному підприємстві в 3-4 рази вище, ніж на недержавному. Аналіз структури собівартості показав, що є три основні шляхи вирішення цієї проблеми:

1 - збільшення видобутку вугілля;

2 - зменшення кількості споживаної електроенергії (до 15% у структурі собівартості);

3 - зменшення витрат, пов'язаних з кріпленням і ремонтом гірничих виробок (від 5 до 10% у структурі собівартості).

Перший шлях в умовах профіциту вугілля не є актуальним, другий вимагає особливої уваги, та відповідних рішень, а третій є цілком доступним практичним заходом для підприємства і розглядається у дисертації. При цьому слід зауважити, що в умовах ДП «Красноармійськвугілля» зниження

собівартості на 1 % еквівалентно зменшенню витрат, приблизно, в кількості 16 гривень на кожен тону видобутого вугілля.

Аналіз структури витрат, направлених на ремонт гірничих виробок показав, що у Красноармійському регіоні вони пов'язані, в основному, із заміною деформованих рам кріплення та ліквідацією наслідків здирання порід підосви. Таким чином, мета досліджень полягала в розробці чисельної моделі, що враховує деформаційні процеси у підосві виробок, і обґрунтуванні на цій основі таких параметрів комбінованого кріплення підготовчих виробок, при яких витрати на їх підтримку будуть істотно знижені.

Процес здирання порід підосви в гірничих виробках є одним з найбільш істотних і витратних. Його вивченням займалися такі вчені, як П.М. Цимбаревич, К. Терцаги, В.Д. Слесарєв, В.Т. Глушко, О.П. Максимов, Ю.З. Заславський, Е.В. Фесенко, Г.Г. Литвинський, І.Л. Черняк, О.М. Шашенко, А.М. Роєнко, О.В. Солодянкін, О.Е. Кіпко, І.М. Слащов і багато інших. В результаті їх досліджень було встановлено, що найбільш значущими факторами, які впливають на цей процес, є величина гірського тиску, міцність і структура порід, а також розмір зони непружних деформацій навколо виробки. Найбільш глибоке узагальнення цих результатів було виконано в роботах О.М. Шашенка. Ним же запропонована біфуркаційна теорія здирання гірських порід. Її суть полягає в тому, що в певних геомеханічних умовах при досягненні зоною непружних деформацій деякого критичного радіуса відбувається втрата пружно-пластичної стійкості приконтурного масиву, що супроводжується здиранням порід підосви. Критерій, що дозволяє визначити цей стан, має наступний вигляд:

$$\bar{\varepsilon}_V r_L^{*2} \ln^2 r_L^* - 2 = 0, \quad (1)$$

де $\bar{\varepsilon}_V$ - середня величина відносного об'ємного пластичного розпушення порід; r_L^* - критичний радіус зони непружних деформацій, віднесений до радіусу виробки, що відповідає глибині, з якої починається здирання підосви у виробці.

Якщо ліва частина цього виразу менше нуля, то відбудеться здирання порід підосви. Ця залежність в явному вигляді може бути наведена таким чином:

$$r_L^* = 1 + \bar{\varepsilon}_V^{-0,4}. \quad (2)$$

Радіус зони непружних деформацій може бути визначений за формулою:

$$r_L = \exp\left(\sqrt{\frac{\gamma H}{2R_c k_c}} - 0,5\right), \quad (3)$$

і тоді критична глибина, на якій слід очікувати здирання порід підосви, визначиться таким чином:

$$H_{i\delta} = \frac{2R_c k_c}{\gamma} \left(\ln \left(1 + \frac{-0.4}{\varepsilon_v} \right) + 0,5 \right)^2. \quad (4)$$

Тут R_c – межа міцності порід на одноосьовий стиск; γ – об’ємна вага порід, k_c – коефіцієнт структурного послаблення обчислюється за формулою:

$$k_c = 1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta), \quad (5)$$

де

$$\eta = \sqrt{\frac{l_T + l_0}{l_T} (\eta_0^2 + 1)}, \quad (6)$$

l_T – середня відстань між тріщинами, l_0 – характерний розмір стандартного зразка гірських порід, η_0 – коефіцієнт варіації випробувань стандартних зразків гірських порід.

Біфуркаційна теорія здимання була покладена в основу подальших досліджень.

За основний об’єкт досліджень була взята шахта «Добропільська», де в 2013 році вприсічку до 7-го конвеєрного штреку 7-й північної лави споруджувався 8-й вентиляційний штрек 8-й північної лави.

Зважаючи на складність досліджуваного процесу, аналітичні дослідження були виконані чисельним методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу Phase 2 канадської компанії Rocscience.

Перший етап досліджень полягав в розробці методики чисельного моделювання процесу здимання порід підосви в разі однорідного породного масиву, що містить одиночну виробку.

У теорії біфуркації покладається, що геомеханічна система у процесі збільшення зовнішнього навантаження робить різкий перехід з одного енергетичного стану в інший, з нижчим рівнем потенційної енергії. На чисельній моделі це здійснюється шляхом «миттєвого» переміщення точки А (рис. 2) у положення А’.

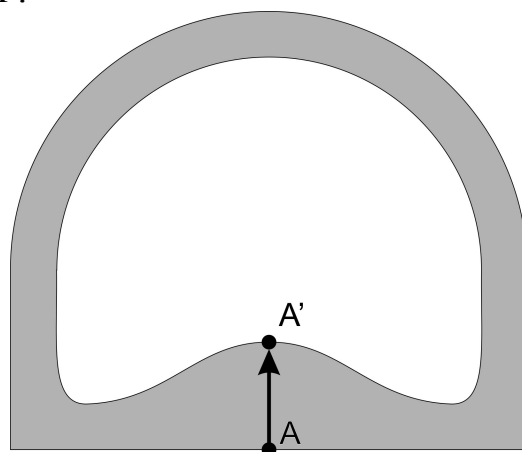


Рис. 2. Характерна точка А прикладення збурюючого переміщення у центрі підосви виробки

В результаті змінюється форма зони непружних деформацій і відповідна їй картина переміщень. Конфігурація зони непружних деформацій навколо виробки на першій стадії моделювання у незбуреному (а) і збуреному (б)

наведена на рис. 3. Після цього, залежно від умов, процес здимання може бути або затухаючим, або незатухаючим.

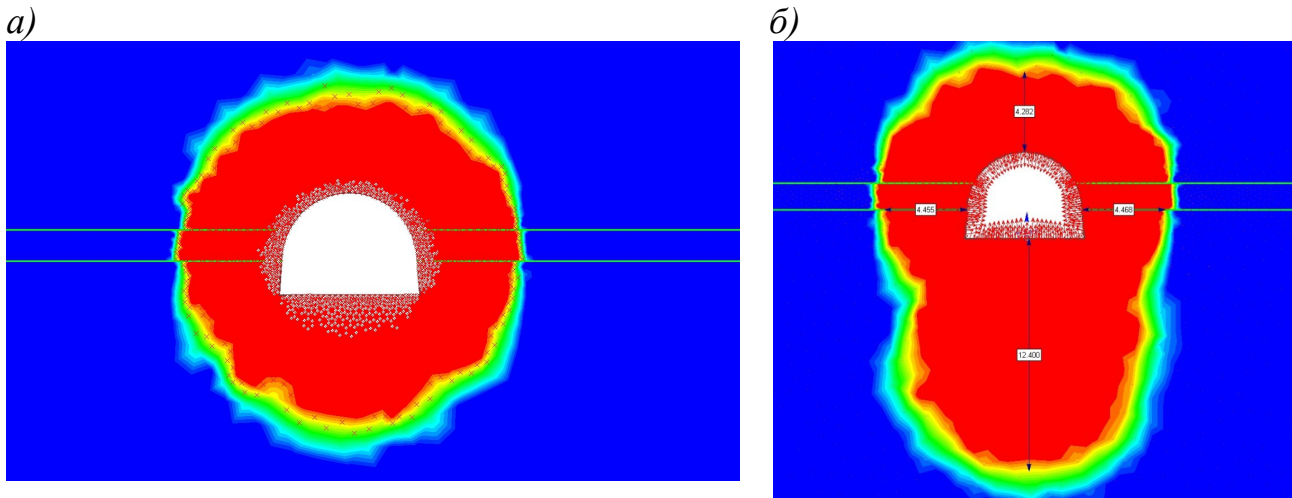


Рис. 3. Конфігурація зони непружних деформацій навколо одиночної виробки у незбуреному (а) та у збуреному стані (б)

Розрахунки показали, що величина збурюючого впливу не повинна перевищувати 0,02 м, оскільки подальше її збільшення не призводить до зміни розмірів зони непружних деформацій (рис. 4).

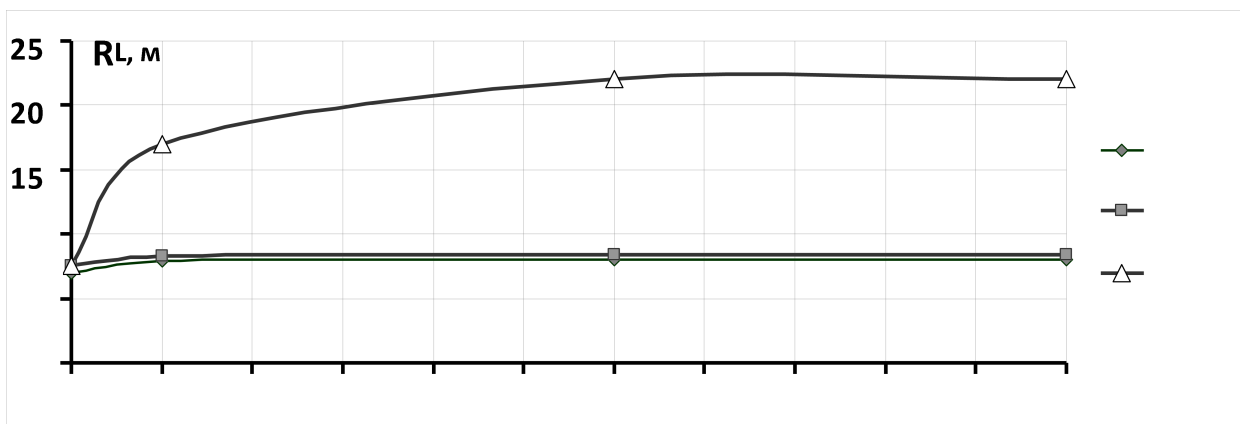


Рис. 4. Залежність розмірів ЗНД від величини штучного підйому вузла скінчено-елементної сітки

Аналізуючи розміри зони непружних деформацій, які утворилися в результаті збурюючої дії, слід відзначити, що в боках і покрівлі її розміри не змінилися, а в підшві збільшилися більш, ніж втричі, що відображено на графіку рис. 5.

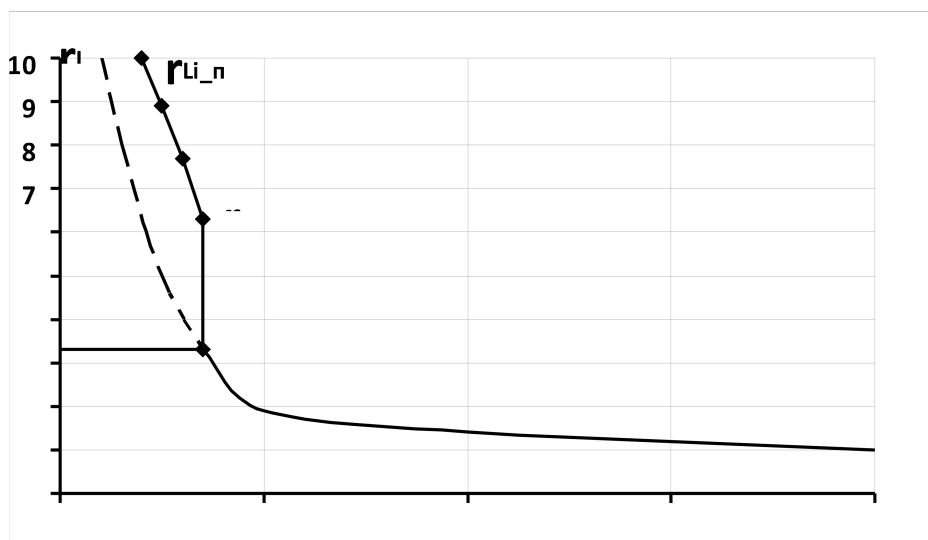


Рис. 5. Подальший розвиток переміщень в покрівлі і підшві виробки після досягнення точки біфуркації B

Цей висновок відповідає результатам натурних вимірювань і є важливим при визначенні навантаження на кріплення виробки.

У результаті виконаних досліджень доведено, що адекватна втрата пружно-пластичної стійкості приконтурного масиву навколо одиночної виробки виникає на чисельній моделі при величині штучного збурення вертикального переміщення центральної точки поверхні підшви, величина якого дорівнює 0,02 м. Це викликає стрибкоподібне збільшення в 3-4 рази розміру зони непружних деформацій в породах підшви.

Наступний етап досліджень полягав в оцінці спільного впливу двох виробок, одна з яких проводиться вприсічку до вже існуючої. Розрахунок проводився при ширині цілика між виробками, яка дорівнює 30, 20, 10, 5, і 3 м. Конфігурація зон непружних деформацій для першого з цих випадків наведена на рис. 6.

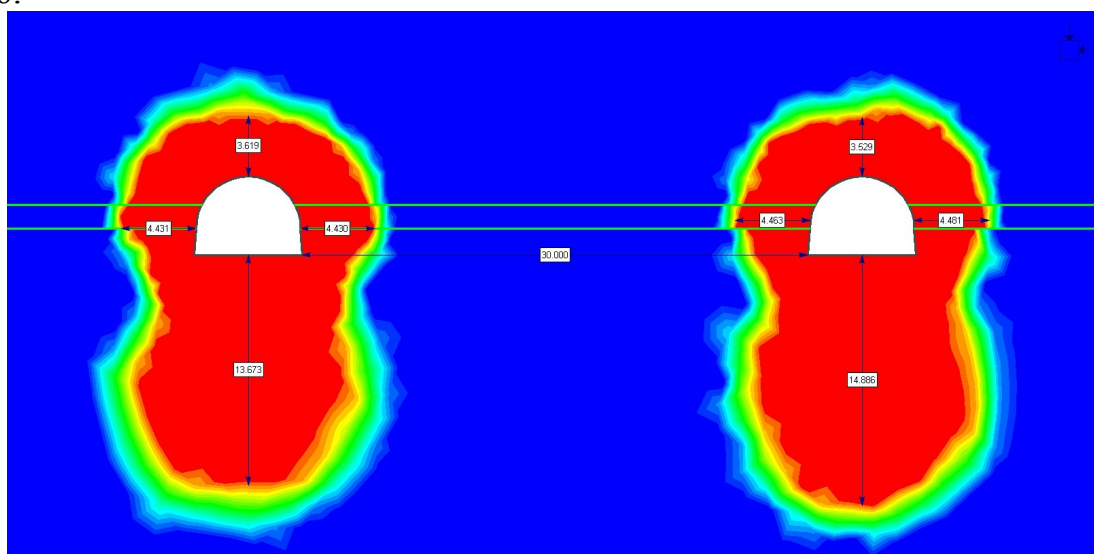


Рис. 6. Конфігурація зон непружних деформацій навколо парних виробок при ширині цілика 30 м

Векторний і кількісний розподіл переміщень навколо виробок при ширині цілика, що дорівнює 3 м наведений на рис. 7.

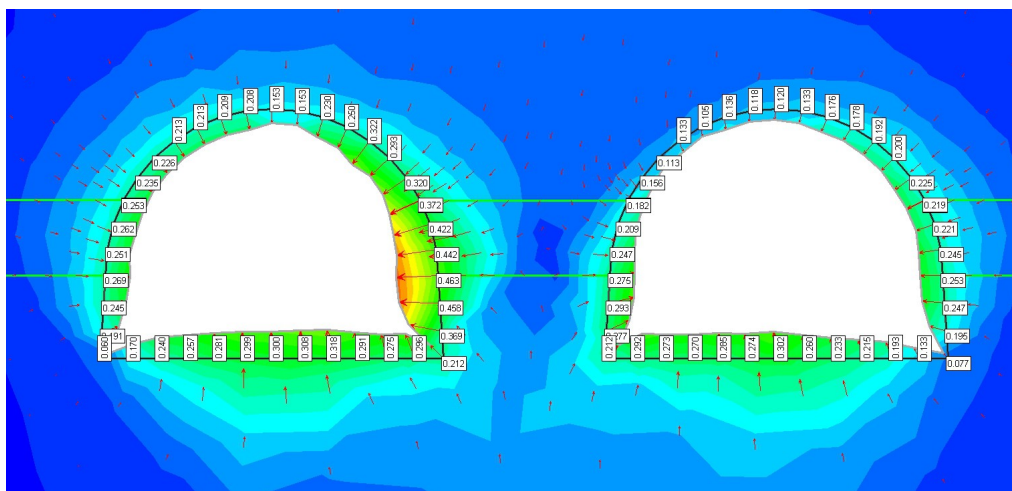


Рис. 7. Векторний і кількісний розподіл переміщень навколо парних виробок при ширині цілика 3 м

З останнього випливає, що для розглянутого випадку слід очікувати збільшення навантаження на кріплення як з боку покрівлі, так і зі сторони тих боків виробки, які прилягають до цілика. Цілик між виробками буде зруйнований повністю. У виробках прогнозується здимання порід підосви, яке носитиме несиметричний характер і проявиться більшою мірою з боку цілика.

Вище була розглянута плоска задача, а насправді, геомеханічна система «лава-парні виробки» є об'ємною, і це повинно бути враховано в розрахунковій схемі. Для цього в роботі була вирішена тривимірна задача в програмному середовищі Solidworks. Така ж задача була вирішена і в плоскій постановці. Різниця між отриманими коефіцієнтами концентрації вертикальних напружень в зоні взаємного впливу лави і виробок дозволила врахувати фактичну тривимірність задачі шляхом введення в граничні умови плоских схем додаткового коефіцієнта, що дорівнює 1,3.

Дослідження, виконані вище, стосувалися однорідного масиву. Реальний же породний масив має певні відмінності. Тому ті ж моделі були досліджені відносно гірничо-геологічних умов 7-го конвеєрного і 8-го вентиляційного штреків північних лав шахти «Добропільська».

На рис. 8 показана конфігурація зони непружних деформацій для розглянутих умов у незбуреному і в збуреному станах.

Їх порівняння з аналогічними однорідними моделями показало, що у випадку, коли фізико-механічні властивості шарів порід відрізняються не більше, ніж на 25 %, різниця в розмірах зони непружних деформацій незначна і не перевищує 5-7 %.

В дисертації виконані також дослідження щодо зони непружних деформацій для двох виробок, розділених цілком шириною 3 м, поза зоною впливу лави і в зоні її впливу. Їх порівняння з однорідними моделями показало практично повну ідентичність, в умовах, що розглядаються.

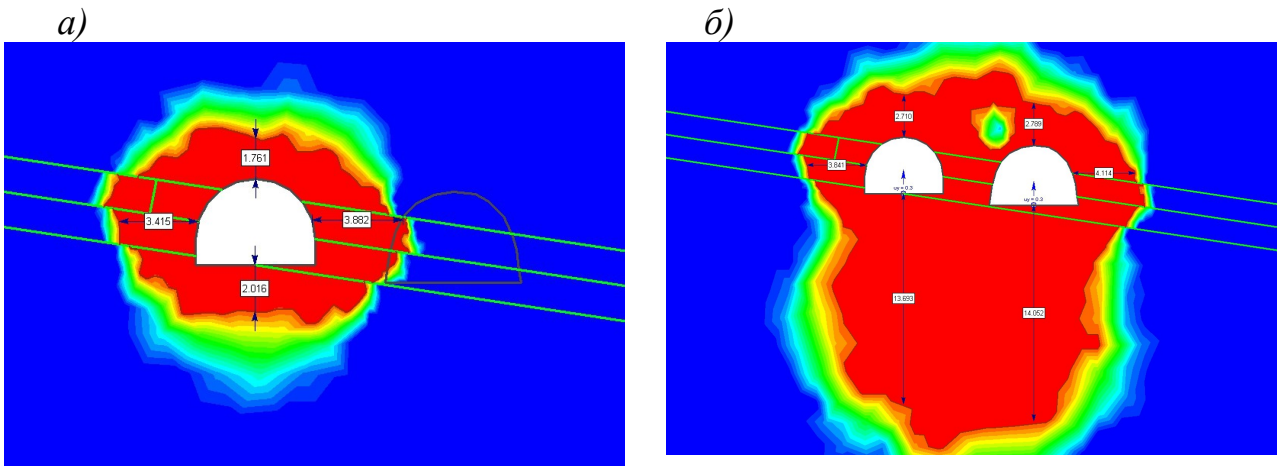


Рис. 8. Конфігурація зони непружних деформацій навколо одиночної виробки у шаруватому масиві: а) у незбуреному стані; б) у збуреному стані

Аналіз картини розподілу переміщень для розглянутої гірничо-геологічної ситуації при ширині цілика між виробками, що дорівнює 3, 10, і 30 м також підтвердив правомірність виконання досліджень за розробленою методикою на однорідних моделях.

Навантаження на кріплення істотно залежить від розміру цілика між ними. Оскільки було доведено, що процеси в підшви виробки не впливають на величину зони непружних деформацій у покрівлі, то розрахунок навантаження на кріплення виконувався для незбуреного стану приконтурного масиву. Розглядалися три випадки: одиночна виробка, парні виробки при різній ширині цілика між ними і парні виробки в зоні впливу лави.

Область порід, що утворює навантаження на кріплення, заштрихована на рис. 9.

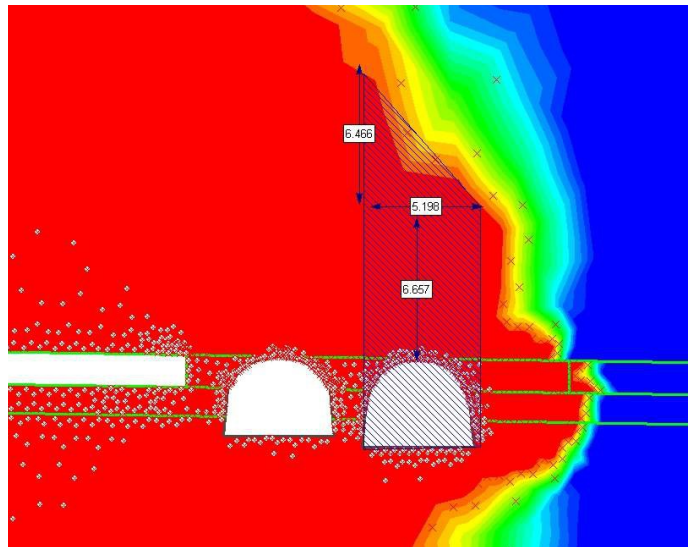


Рис. 9. Зона руйнування порід навколо виробки для випадку коли вибій штреку просунувся за вікно зустрічній лави (цілик 1,5 м)

Навантаження на кріплення визначається за наступною формулою:

$$P = \gamma \cdot S \cdot k_n, \quad (7)$$

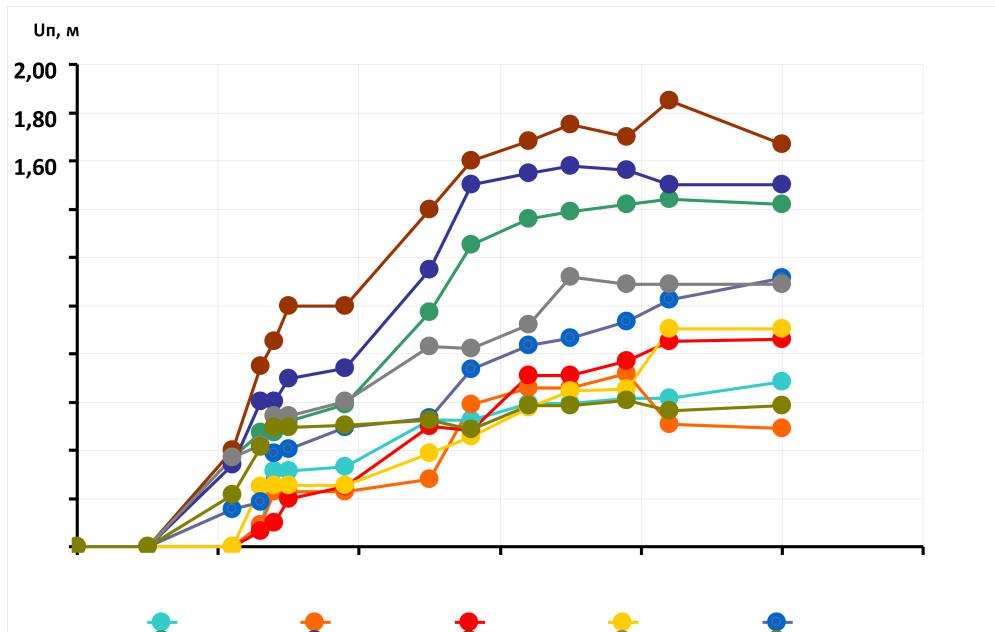
де S - площа зони руйнування; γ - об'ємна вага порід; μ - коефіцієнт динамічності.

Для умов, що розглядаються, навантаження на кріплення склало 179,2 т/м. Несуча ж здатність проектного варіанту кріплення склала 244 т/м.

Частка від ділення сумарної несучої здатності елементів кріплення на величину навантаження дозволяє визначити коефіцієнт запасу міцності. Цей розрахунок був виконаний при ширині цілика 1,5; 2,0; 2,5; і 3,0 м. При ширині цілика 3 м він дорівнює 1,37, що є достатнім, але потребує подальшої перевірки в натурних умовах.

Натурні експерименти були організовані у 8-му вентиляційному штреку на пікетах від 0 +10 до 5 +10 м. Вимірювалася вертикальна і горизонтальна конвергенція, опускання покрівлі і підняття підшви, прослизання в замках. За результатами вимірювань будувалися графіки розвитку деформацій у часі (рис. 10).

а)



б)

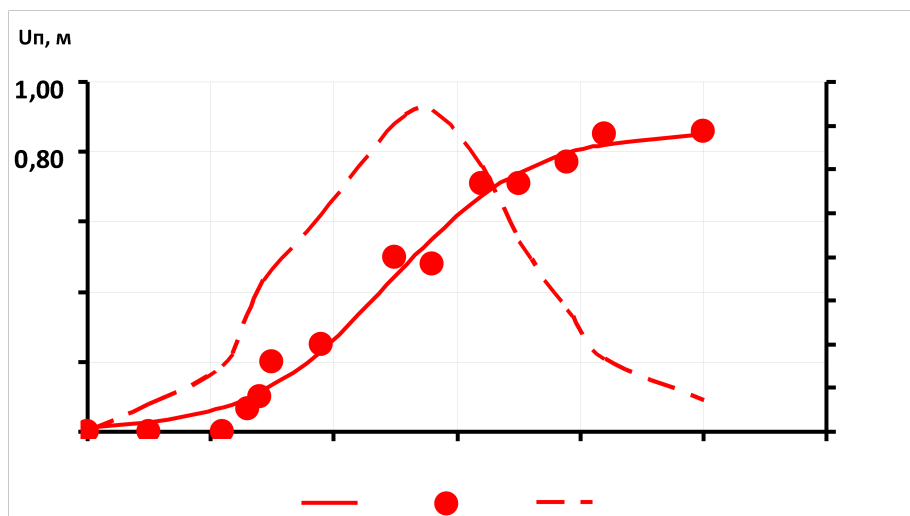


Рис. 10. Кінетика переміщень (а) та їх швидкостей (б) підшви 8-го вентиляційного штреку

Аналіз графіків швидкостей підняття підшоши показав, що всі вони мають характерний пік, який свідчить про досить швидку зміну енергетичних процесів, що протікають навколо виробки. Це підтверджує правильність прийняття за вихідну гіпотезу біфуркаційну модель здимання порід підшоши.

На основі численних натурних вимірювань доведено, що деформації підшоши виробок ростуть в часі за деяким нелінійним законом:

$$U_t = f(U_0, a, b, c, t). \quad (8)$$

Тут U_0 - початковий поріг здимання, що дорівнює 0,3 м; a , b , c - емпіричні коефіцієнти, t - час, доба.

Така залежність була отримана в результаті натурних вимірювань і використана для моделювання процесу здимання порід в часі.

Криві розвитку деформації підшоши підкоряються наступній залежності:

$$U_n = \frac{a}{1 + be^{-ct}}, \quad (9)$$

де U_n – переміщення підшоши, м; t – доби спостережень ($t_{max}=60$ діб), a , b , c - коефіцієнти, що отримані у результаті виконання натурних досліджень (табл. 1).

Невідомі коефіцієнти наведені в.

Таблиця 1.

Коефіцієнти апроксимації функції переміщень підшоши

Пікет	Коефіцієнти апроксимації		
	a	b	c
ПК1+10	0,62	73,21	0,21
ПК2	0,86	77,73	0,18
ПК3	1,12	15,91	0,12
ПК4+10	1,73	22,57	0,20

Ця залежність була використана для дискретного моделювання в часі процесу здимання порід підшоши у виробці. Результати цього моделювання (виробка праворуч) наведені на рис. 11 на тих же пікетах і в той же проміжок часу: 10, 30 і 60 діб.

Їх співставлення з результатами натурних вимірів показало, що результати моделювання та натурального експерименту співпали з помилкою, яка не перевищує 20 %. Таким чином, розроблена методика чисельного моделювання процесу здимання порід підшоши виробок дозволяє здійснювати прогноз деформацій і навантаження на кріплення з достатньою точністю.

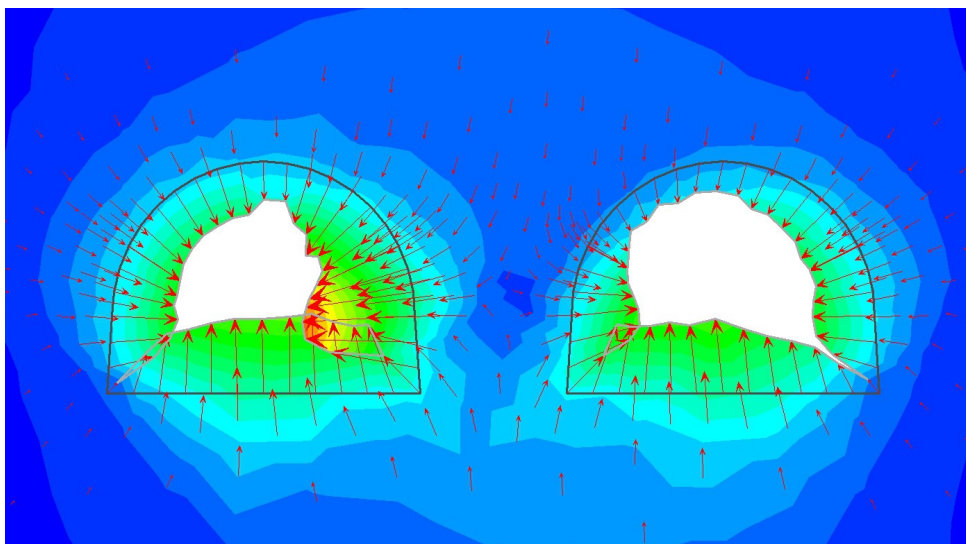


Рис. 11. Деформації контуру виробки за результатами чисельного моделювання: ($T = 60$ діб)

На підставі виконаних досліджень було доведено, що здимання порід в підземних виробках, які знаходяться на деякій критичній глибині, є біфуркацією напружено-деформованого стану породного середовища, в результаті якого виникає швидка деструкція масиву вертикально вниз з боку підшови при незмінних параметрах зони непружних деформацій у боках і покрівлі, що на основі закономірностей цього процесу дозволяє обґрунтовано обчислювати навантаження на комбіноване кріплення і конструювати її структурні елементи.

У табл. 2 наведені результати чисельного моделювання за викладеною вище методикою впливу кількості анкерів на величину підняття порід підшови.

Таблиця 2

Здимання порід підшови при різних конструкціях кріплення

Кількість анкерів, шт.	2 канатних + 3 шт. зі сторони лави	2 канатних + 5 шт., стойка	2 канатних + 9 шт., стойка
Величина здимання	1,079 м	0,87 м	0,46 м

З неї випливає, що збільшення кількості анкерів стандартної довжини при наявності одного канатного анкера дозволяє зменшити величину підняття порід підшови на 60 %. У результаті для розглянутих гірничо-геологічних умов рекомендований варіант комбінованого кріплення, наведений на рис. 12.

Запропонована система кріплення забезпечує суттєве зменшення здимання порід підшови (до 60 %) і має запас міцності, що дорівнює 2,0.

Цей варіант кріплення був використаний у проекті другої експериментальної ділянки. Розрахунок очікуваного економічного ефекту визначався з урахуванням капітальних і експлуатаційних витрат. Він склав 785 грн./м.

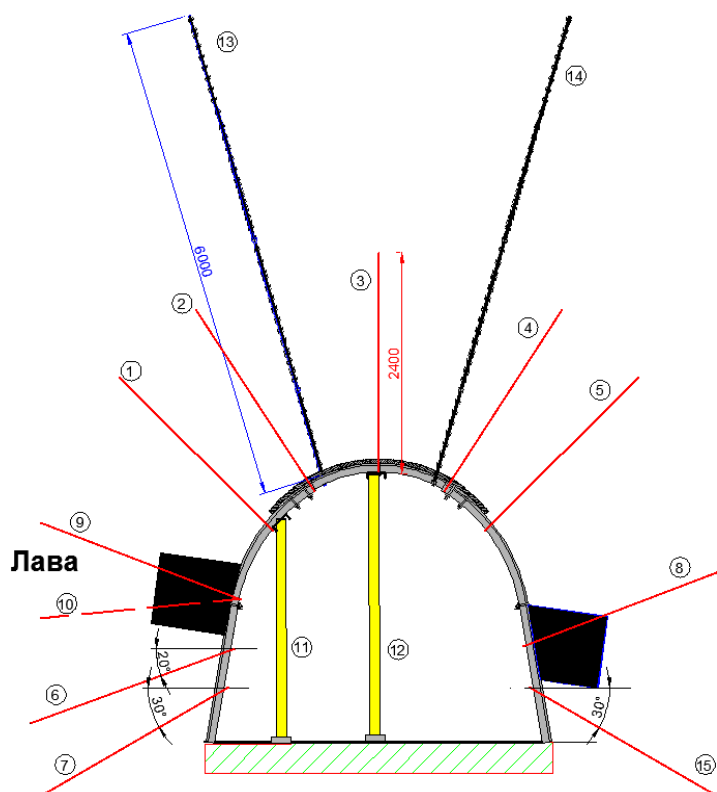


Рис. 12. Перетин 8-го вентиляційного штреку 8-ї північної лави пласта m_5 горизонту 450 м шахти «Добропільська» з запропонованою системою кріплення

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі вперше встановлених закономірностей реалізації процесу здимання порід підшови у підготовчих виробках вугільних шахт, що знаходяться в зоні впливу вибою лави, обґрунтовані параметри комбінованого кріплення, яке забезпечує підвищення стійкості геомеханічної системи «лава-штрек-присічний штрек».

Основні наукові і практичні результати досліджень полягають у наступному.

1. Аналіз економічної ситуації на ринку вугілля та його собівартості показав, що для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних вугільних шахт, особливо тих, що знаходяться у державній власності, необхідно або суттєве збільшення обсягів видобутку, що не є актуальним в умовах профіциту вугілля, або зниження витрат за такими статтями, як споживання електроенергії та ремонт виробок.

2. Одним із характерних проявів гірського тиску у виробках глибоких вугільних шахт є здимання порід підшови, природа якого на цей час недостатньо вивчена, а способи моделювання – недосконалі.

3. Запропонована залежність, що дозволяє встановити критичну глибину, починаючи з якої процес здимання порід підшови стає перешкодою на шляху виконання технологічних процесів у виробці.

4. Розроблена методика чисельного моделювання процесу здимання порід підшоши підготовчих виробок. Це дозволило обґрунтовано підійти до конструювання комбінованого рамно-анкерного кріплення.

5. Доведено, що навантаження на елементи комбінованого кріплення не залежать від процесів, які відбуваються у підшосві виробки. Це дозволило спростити моделі, що досліджувалися, і оцінити величину навантаження на кріплення.

6. Натурні дослідження, виконані у 8-му вентиляційному штреку 8-ї північної лави ПСП «Шахта Добропільська», дозволили встановити параметри протікання процесу здимання порід підшоши, підтвердити можливість використання біфуркаційної теорії, дозволили калібрувати вихідну чисельну модель і внести корективи у конструкцію кріплення.

7. Залежності, отримані у дисертації, та рекомендації використані при спорудженні 8-го вентиляційного штреку 8-ї північної лави ПСП «Шахта Добропільська» з очікуваним економічним ефектом 785 грн./м.

Результати роботи і положення дисертації відображені у наступних працях:

1. Король А.Ю. Численное моделирование потери устойчивости пород почвы в горных выработках глубокого заложения / А.Н. Шашенко, К.В. Кравченко, А.Ю. Король // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 9 (12). – С. 105-112. (Наукометрична база Index Copernicus).

2. Король А.Ю. Оценка параметров геомеханической системы «парные выработки – целик – очистной забой» / А.Н. Шашенко, Г.Г. Сторчак, А.О. Логунова, А.Ю. Король // «Науковий вісник НГУ». – Днепропетровск, 2014. – № 2. – С. 58-63. (Наукометрична база даних Scopus).

3. Король А.Ю. Закономерности деформирования приконтурного массива в окрестности одиночной выработки при вспучивании пород почвы / А.Ю. Король // «Геотехнічна механіка». – Дніпропетровськ: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2014. – Вип. 115. – С. 170-175.

4. Король А.Ю. Анализ геомеханических процессов в северном вентиляционном штреке пласта m_5^{1B} ПСП «Шахта «Добропольская» ОАО «ДТЭК Добропольеуголь» / А.Н. Шашенко, С.Н. Гапеев, А.Ю. Король // Вісник Криворізького національного університету – Кривий Ріг: ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2014. – Вип. 36. – С. 54-58.

5. Король Г.Ю. Влияние количества анкеров на величину пучения пород почвы // Н.В. Хозяйкина, М.С. Дубицкая, А.Ю. Король // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 3 (86). – С. 143 – 148. (Науково-метрична база Index Copernicus).

6. Король Г.Ю. До визначення критерію оцінки стану протяжних виробок глибоких вугільних шахт / О.М. Шашенко, О.В. Халимендик, Г.Ю. Король // Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників - 2013». – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – Т. 2. – С. 126-131.

7. Король А.Ю. Численное моделирование процесса пучения пород почвы в горных породах / А.Н. Шашенко, К.В. Кравченко, И.Н. Попович, А.Ю. Король // Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників - 2013». – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – Т. 2. – С. 170-175.

8. Король А.Ю. Оценка параметров геомеханической системы «парные выработки – очистной забой» / А.Н. Шашенко, А.Ю. Король // Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и проекты в горно-металлургическом комплексе, их научное и кадровое сопровождение». – Казахский национальный технический университет им. К.И. Саптаева. – Алматы: КазНТУ, 2014. – С. 266-271.

9. Король А.Ю. Численное моделирование геомеханической системы «парные штреки – очистной забой» / А.Ю. Король // VII Міжнародна науково-практична конференція «Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів Європи та СНД» 26 травня 2014 р. – Краснодарський факультет інженерії і менеджменту Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – С. 86-91.

Особистий внесок автора у роботах, що написані у співавторстві: [1, 7, 9] – чисельне моделювання геомеханічних ситуацій, аналіз результатів моделювання; [4] – аналіз результатів натурних вимірів; [5] – моделювання рамно-анкерних систем; [6] – аналіз досліджень у сфері моніторингу протяжних виробок; [2, 8] – оцінка впливу анкерних систем на здимання порід підшоши.

АНОТАЦІЯ

Король Г.Ю. Закономірності процесу здимання порід підшоши в присічних виробках глибоких вугільних шахт. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – Дніпропетровськ, 2014 р.

У дисертації на основі чисельного моделювання та результатів натурних вимірів запропонована і досліджена модель реологічного явища у підземних виробках, що отримано назву «здимання порід підшоши». Це явище є характерним для виробок, що залягають на досить великих глибинах. В дисертації наведено залежність, що дозволяє обчислити критичну глибину, після якої приконтурний масив навколо виробки втрачає пружно-пластичну стійкість, прямо пропорційна середньозваженій міцності порід з урахуванням коефіцієнту структурного послаблення, логарифму коефіцієнту пластичного розпушення і зворотно пропорційна їх щільності, що дозволяє прогнозувати здимання порід підшоши і передбачати способи запобігання цього прояву гірського тиску.

В основі ідеї роботи покладено гіпотезу про біфуркацію енергетичного стану породного масиву навколо виробки, що знаходиться у пружно-пластичному стані. На чисельній скінчено-елементній моделі відпрацьовано параметри, при яких відбувається перехід моделі з одного стану в інший, з

більш низьким рівнем потенційної енергії. Виконані натурні дослідження в умовах ПСП «Шахта Добропільська» ВАТ «ДТЕК – Добропіллявугілля». Отримані дані, порівняння яких з результатами чисельного моделювання дозволило стверджувати про те, що запропонована модель здимування порід підпошви є адекватною і дозволяє обґрунтовано підійти до обчислення навантаження на кріплення та вибору його конструктивних елементів. Запропонований варіант комбінованого рамно-анкерного кріплення прийнятий шахтою до реалізації.

Очікуваний економічний ефект від реалізації пропозиції складає 785 грн/м.

Ключові слова: геомеханічна модель, здимування порід підпошви протяжних виробок, пружно-пластична стійкість, метод скінчених елементів, навантаження на кріплення, присічні виробки, рамно-анкерне кріплення.

АННОТАЦІЯ

Король А.Ю. Закономерности процесса пучения пород почвы в присечных выработках глубоких угольных шахт. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.09 – «Геотехническая и горная механика». – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет». – Днепропетровск, 2014.

В диссертации рассматривается актуальная научно-техническая задача, связанная с моделированием и прогнозом процесса пучения пород почвы протяженных выработок угольных шахт, на ликвидацию последствий которого приходится основная часть ремонтов.

Цель выполненных исследований заключается в разработке и обосновании численной модели процесса пучения пород почвы в протяженных выработках.

В основу исследований положена гипотеза о бифуркации энергетического состояния пластически разрыхленных горных пород, находящихся в приконтурной области. Ввиду сложности исследуемого явления, решение задачи в замкнутом виде не представляется возможным. Численное моделирование процесса пучения пород почвы было впервые предложено в работах С.Н. Гапеева, однако не было доведено до методических рекомендаций.

В настоящей работе, по сути, впервые исследована численная модель процесса пучения и определены такие ее параметры, при которых она адекватно отражает деформации, происходящие в натуральных условиях. В частности, доказано на модели и подтверждено натурными измерениями, что после прохождения точки бифуркации размеры зоны неупругих деформаций в кровле и боках выработки остаются неизменными, а в почве возрастают в 4-5 раз.

Исследования выполнены для однородных и неоднородных (слоистых) моделей. Доказано, что при незначительной разнице в физико-механических свойствах вмещающих выработку горных пород (до 25 %) нагрузка на крепь

может определяться без учета явления пучения, то есть как для однородного массива. При большом расхождении физико-механических свойств вмещающих пород (прочность, деформируемость) при определении нагрузки на крепь следует учитывать явления пучения пород почвы.

Исследовано поведение сложной геотехнической системы «лава – парные выработки» по мере ее образования: I этап – подготовительная выработка вне зоны влияния лавы, II этап – присечная выработка; III – присечные выработки - лава.

Определены условия, при которых на крепь выработки формируется нагрузка при различной ширине предохранительного целика между ними. Определена величина этой нагрузки и несущая способность рамно-анкерной системы. Установлена величина коэффициента запаса прочности. Показано, что его величина для горно-геологических условий шахты «Добропольская» должна быть не менее 2,0.

Выполнен комплекс натуральных измерений в выработках шахты «Добропольеуголь». Получены временные закономерности процесса поднятия пород почвы, которые аппроксимированы соответствующими аналитическими зависимостями. Они внесены в алгоритм расчета, что позволило осуществить прогноз развития во времени деформаций контура выработки и разработать соответствующую методику.

Определено влияние количества анкеров первого и второго уровней на величину поднятия пород почвы. Предложен вариант комбинированной рамно-анкерной крепи для горно-геологических условий 8-го вентиляционного штрека 8-й северной лавы пласта l_3 шахты «Добропольская».

Численная модель процесса вспучивания пород почвы в протяженных выработках может быть исследована для прогноза объемов ремонтных работ и оценки эффективности применяемых систем рамно-анкерной крепи.

Разработаны и внедрены «рекомендации по определению параметров рамно-анкерной крепи в условиях пучения пород почвы для горно-геологических условий шахты «Добропольская» ОАО «ДТЭК – Добропольеуголь». Ожидаемый экономический эффект от уменьшения объема ремонтных работ, связанных с ликвидацией последствий процесса пучения (перестилка рельсового пути, устройства водоотливной канавки, подрывка пород почвы) составит 785 грн./м.

Ключевые слова: геомеханическая модель, пучение пород почвы протяженных выработок, упругопластическая устойчивость, метод конечных элементов, нагрузка на крепь, присечные выработки, рамно-анкерная крепь.

ANNOTATION

Korol' A.Y. Regularities of heaving rock ground in working separated by solid of deep coal mines. – Manuscript.

Thesis for a scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.15.09 - Geotechnical and Mining Mechanical Engineering. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2014.

In the thesis, model rheological phenomena in underground workings was proposed and investigated based on numerical modeling and results of field measurements, it was called "heaving rock ground". This phenomenon is typical for workings, that underlay at sufficiently large depths. In the thesis dependence was result, that allows to calculate the critical occurrence depth. Hypothesis of bifurcation energy state of rock mass around the workings located in elastic-plastic state was based of idea. Parameters were worked out on the numerical finite-element model, at which there is a transition model from one state to another, with lower levels of potential energy. Field research were performed under conditions PSP «Shakhta Dobropil's'ka» VAT «DTEK – Dobropillyavuhillya». Comparison obtained data with the results of numerical modeling allowed to assert that proposed model of heaving rock ground is adequate and allows substantiated to approach to calculating the load on the bolting and choice its structural elements. Proposed option of combined frame- anchor bolting was accepted by mine to implementation.

The expected economic effect from the proposal will be 785 hrn./m.

Keywords: geomechanical model, heaving rock ground extended workings, elastoplastic stability, finite element method, stress on bolting, working separated by solid, frame-anchor bolting.

Король Ганна Юрїївна

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗДИМАННЯ ПОРІД ПІДОШВИ
В ПРИСІЧНИХ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБКАХ
ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

(Автореферат)

Підп. до друку 22.10.2014. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. №

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