

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

ПОПОВИЧ Ігор Миколайович



УДК 622.833:622.26

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СПОСОБУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
СТІЙКОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ
ПОВТОРНО В УМОВАХ ГЛИБОКИХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Спеціальність 05.15.04 – «Шахтне і підземне будівництво»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

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, професор,
Гайко Геннадій Іванович,
професор кафедри геобудівництва та гірничих
технологій Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут»
Міністерства освіти і науки України;

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 “ 16 ” жовтня 2015 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19. Тел. 0562-47-24-11).

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

Автореферат розісланий “ 16 ” вересня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вугільна промисловість України забезпечила у 2013 р. максимальний видобуток вугілля в кількості 82 млн. тонн при потребі в 115 млн. тонн. Події на південному сході країни призвели до того, що профіцит деяких марок вугілля, таких, наприклад, як марка «Г», змінився їх дефіцитом. При цьому, марки «А» і «Т», що видобуваються на шахтах Луганської та Донецької областей, виявилися найбільш затребуваними.

Вугілля, що видобувається в Донбасі, знаходиться в пластах, які залягають на великій глибині в складних гірничо-геологічних умовах. У цьому зв'язку собівартість його, особливо на шахтах державного підпорядкування, дуже висока. Це пов'язано з вартістю електроенергії, що витрачається на провітрювання, спуск-підйом людей і матеріалів, металевого прокату і металовиробів, особливостями систем розробки. Істотна частина розкритих запасів вугілля нерідко залишається в охоронних ціликах, котрі, до того ж, часто не забезпечують збереження підготовчих виробок. Таким чином, зниження собівартості вугілля шляхом переходу на безціликові способи підтримання штреків з можливістю їх повторного використання з урахуванням закономірностей деформування виробок в геомеханічних умовах, що розглядаються є актуальним науково-практичним завданням, що має важливе народногосподарське значення.

Великий внесок у вивчення стійкості капітальних і підготовчих виробок з точки зору геомеханіки внесли такі вітчизняні вчені, як О.П. Максимов, Б.М. Усаченко, Г.Г. Литвинський, В.І. Бондаренко, Л.В. Новикова, О.О. Сдвижкова, О.В. Солодянкін, С.М. Гапєєв, Ю.М. Халимендик, К.В. Кошелєв, В.Т. Глушко, А.М. Зорін, О.М. Шашенко, А.В. Мартовицький, Г.І. Гайко, І.М. Слащов та багато інших. Завдяки їхнім роботам відбувалося вдосконалення технології проведення та кріплення протяжних виробок. Однак, збільшення глибини розробки вугільних пластів, поява більш досконалої техніки призвели до необхідності розробки нових геомеханічних моделей, на основі яких було б можливе подальше вдосконалення гірничих технологій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає тематичним планам НДР, що виконуються ДВНЗ «Національний гірничий університет»: № 050394 «Розробка способів підвищення стійкості гірничих виробок та зниження питомих витрат на кріплення за рахунок зниження металомісткості та трудомісткості робіт в 3-му східному конвеєрному штреку пл. h_8 та розвідувальному уклоні №1 пл. h_8 ОП «Шахта Комсомольська» ДП «Антрацит»; № 050396 «Розрахунок параметрів рамно-анкерного кріплення. Розробка способів підвищення стійкості гірничих виробок та зниження питомих витрат на кріплення гірничих виробок за рахунок зниження металомісткості кріплення при проведенні пром.штреку 206 західної лави пласта h_{10} шахти «Партизанська».

Мета роботи полягає в обґрунтуванні параметрів геомеханічної системи «кріплення підготовчої виробки-охоронна конструкція лави», за яких можливе повторне використання штреків.

Основна ідея роботи полягає у використанні закономірностей деформування підготовчих виробок в місцях їх сполучення з лавою для обґрунтування раціональних параметрів кріплення і охоронних конструкцій.

Об'єктом досліджень є геомеханічні процеси, що розвиваються навколо підготовчих виробок у місцях їх сполучення з лавою.

Предметом досліджень є параметри напружено-деформованого стану вуглепорідного масиву навколо підготовчих виробок, що зазнають вплив очисного простору лави.

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

- виконати критичний аналіз засобів і способів забезпечення стійкості підготовчих виробок вугільних шахт, які ведуть розробку пластів на великих глибинах у складних гірничо-геологічних умовах;
- виконати комплекс натурних вимірювань в типових виробках, що експлуатуються в гірничо-геологічних умовах ОП «Шахта Комсомольська» ДП «Антрацит»;
- розробити геомеханічну модель «кріплення підготовчої виробки-охоронна конструкція лави» для гірничо-геологічних умов ОП «Шахта Комсомольська» ДП «Антрацит»;
- виконати чисельне моделювання напружено-деформованого стану вуглепорідного масиву навколо геомеханічної системи «кріплення підготовчої виробки-охоронна конструкція лави»;
- обґрунтувати такі параметри кріплення підготовчої виробки та охоронної конструкції лави, при яких можливе повторне використання штреку.

Методи досліджень. Методологічною основою вирішення поставлених задач є комплексний підхід, який включає аналіз та узагальнення інформації в області стійкості підготовчих виробок вугільних шахт, планування і виконання натурних вимірювань, подальшу статистичну обробку отриманих даних; використання методів механіки деформованого твердого тіла, методів чисельного моделювання складних геомеханічних систем (метод скінчених елементів), а також методів теорії ймовірностей при урахуванні масштабного ефекту в гірських породах.

Основні наукові положення, що захищаються в дисертації.

1. У розглянутих гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах площа поперечного перерізу підготовчих виробок, починаючи з відстані 60-80 м (фаза I), зменшується за ступеневим законом, після чого деформації стабілізуються (фаза II) і остаточна площа поперечного перерізу складає 60-70 % від початкової, при цьому максимальна величина підняття порід підшоши знаходиться в експоненційній залежності від показника умов розробки, що дозволяє на цій основі прогнозувати обсяги ремонтних робіт у виробці, призначеної для повторного використання.

2. Величина зміщень контуру виробки, що отримана, виходячи з умов безпечної експлуатації та виконання економічно доцільного обсягу робіт з приведення її у стан, придатний для повторного використання, в розглянутих гірничо-геологічних умовах становить 0,4 м і є критерієм, на основі якого можливо

здійснювати проектування систем кріплення і охоронних елементів на сполученні «штрек-лава».

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- для гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, що розглядаються встановлені нові закономірності процесу деформування підготовчих виробок глибоких вугільних шахт в зоні впливу очисних робіт, які дозволили обґрунтовано підійти до постановки задачі про критерії стійкості виробок, що використовуються повторно;

- вперше як критерій стійкості підготовчих виробок, що використовують повторно, прийнята величина граничних зміщень їх контуру, що дозволило на цій основі виконати оптимізацію ширини охоронних конструкцій на сполученні «штрек-лава» і параметрів рамно-анкерного кріплення.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей деформування системи «кріплення підготовчої виробки-охоронна конструкція лави» та обґрунтуванню критерію, на основі якого доведена доцільність і можливість повторного використання підготовчих виробок у гірничо-геологічних умовах, що розглядаються.

Практичне значення роботи полягає в розробці «Рекомендацій щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких шахт, що використовуються повторно». Очікуваний економічний ефект складає 17,19 тисяч гривень на метр виробки.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується коректною постановкою завдань досліджень, застосуванням апробованих методів їх вирішення, задовільним збігом результатів натурних вимірів і аналітичних розрахунків (розбіжність не перевищує 15 %), впровадженням їх у практику спорудження виробок.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень впроваджені в практику розрахунків параметрів охоронних конструкцій і систем рамно-анкерного кріплення при повторному використанні підготовчих виробок глибоких вугільних шахт: ДП «Антрацит», ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Особистий внесок автора полягає у формулюванні мети та основних задач досліджень, у постановці, супроводі й обробці натурних експериментів; у розробці геомеханічних моделей, їх чисельного дослідження та розробці рекомендацій щодо технології та параметрів охоронних конструкцій і систем рамно-анкерного кріплення при повторному використанні підготовчих виробок у гірничо-геологічних умовах, що розглядаються.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи були повідомлені на: технічних радах шахти «Комсомольська» ДП «Антрацит» (Антрацит, 2010-2013); семінарах кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (Дніпропетровськ, 2010-2014); міжнародній конференції «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2013, 2014); 8-й Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій» (Дніпропетровськ, 2014); міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, 2015); XI Міжнародній науково-технічній

конференції «Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин» (Кременчук-Свалява, 2015).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових робіт, в тому числі 7 в спеціалізованих виданнях (з них 3 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз), 5 в збірниках матеріалів конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку джерел з 200 найменувань на 22 сторінках і трьох додатків на 14 сторінках. Містить 144 сторінки машинописного тексту, 123 рисунки, 23 таблиці. Загальний об'єм дисертації складає 220 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В даний час вугілля є і на віддалену перспективу залишатиметься єдиним енергоносієм, який Україна потенційно має в обсягах, достатніх для практично повного забезпечення потреб національної економіки, що визначає його провідну роль в енергетичній безпеці держави. Прогнозні запаси вугілля в Україні становлять 117,5 млрд. тонн, у тому числі розвідані - 56 млрд. тонн.

Багато років рівень видобутку вугілля в Україні залишався практично незмінним в межах 72-80 млн. тонн. У 2011 році обсяг видобутку вугілля зріс до 82 млн. тонн, а в 2012 році став рекордним за останні 10 років і склав 86 млн. тонн.

До 2013 р. вітчизняна вугільна промисловість повністю задовольняла попит у вугільній продукції теплових електростанцій і теплоцентралей, населення та інших споживачів. Плани, викладені вище, були порушені через наявність військових дій на сході України. Станом на 31.12.2014 р. в Україні на території, контрольованій терористичними угрупованнями, перебуває 85 шахт всіх форм власності, що становить 57 % від їх загальної кількості.

З 90 шахт, підпорядкованих Міненерговугілля, 55 шахт знаходяться на контрольованій сепаратистами території і 35 шахт знаходяться поза зоною ведення бойових дій. З 55 шахт - 25 шахт, в середньому, добувають 11 тис. тонн вугілля на добу і 30 підтримуються в режимі життєзабезпечення (вентиляція і водовідлив), з яких 6 шахт залишаються повністю знеструмленими. З 35 шахт - 33 видобувають 21 тис. тонн на добу, 2 шахти знаходяться в режимі водовідливу.

За 12 місяців 2014 видобуток вугілля в Україні склав 65 млн. тонн, що на 22% менше видобутку за аналогічний період 2013 року, в тому числі коксівного - 16,3 млн. тонн і енергетичного - 48,7 млн. тонн.

Однак, враховуючи той факт, що деякі шахти змогли зареєструватися на територіях, контрольованих українською владою, вони продовжують працювати з усіма зобов'язаннями перед державою. До таких підприємств відноситься ДП «Антрацит», до складу якого входять дві шахти: «Комсомольська» і «Партизанська».

Як основний об'єкт досліджень прийнята шахта «Комсомольська». Видобуток вугілля на цій шахті ведеться на глибині, що перевищує 1100 м. Вугільні пласти представлені дефіцитним антрацитом. Розробка їх ведеться суцільною системою розробки.

Комплекс досліджень виконувався в період з 2010 по 2014 роки. Обстеженню піддавалися наступні виробки: 2-й і 3-й східні конвеєрні штреки пласта h_8 (32-я східна лава); 6-й і 7-й східні конвеєрні і 8-й східний промштрек пласта h_{10} (5-а східна лава); 8-й східний промштрек (8-а східна лава пласта h_8); 9-й і 10-й східні конвеєрні штреки (9-а і 10-а східні лави пласта h_8).

Вимірювальні станції в кількості трьох були встановлені у виробках, що проводяться з випередженням забою лави з інтервалом 50 м. Зводилися вони на відстані 3-5 м від вибою виробки. Результати вимірювань заносилися в стандартні відомості, наведені у дисертації. Частота вимірів співвідносилася зі швидкістю посування лави, але не рідше, ніж 1 раз в три дні.

До характерних наслідків впливу гірського тиску на підготовчі виробки слід віднести відшарування порід бровки; здимання порід підосви; руйнування ніжок кріплення; розрив хомутів; нахил смуги з матеріалу «текхард» у бік виробки; нахил рам кріплення в сторону вибою. Окрім того відмічаються порушення технології такі, як неправильно встановлене анкерне кріплення та відсутність контакту рам кріплення з боковими породами. Ці дефекти знижують стійкість виробок і перешкоджають можливості їх повторного використання.

Результати попикетної зміни поперечного перерізу в 9-му і 10-му конвеєрних штреках наведені на рис. 1.

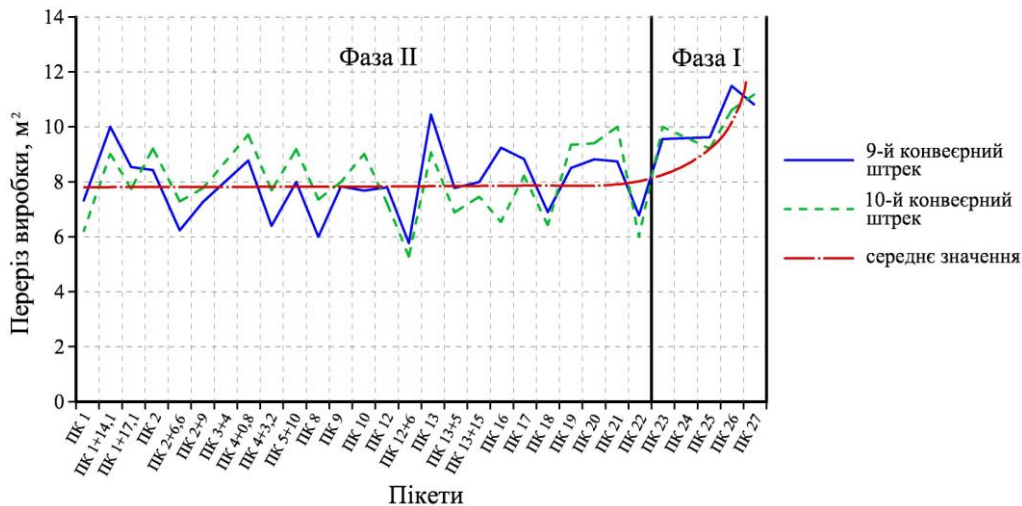


Рис. 1. Попикетна зміна поперечного перерізу 9-го і 10-го конвеєрних штреків при підході лави

З нього випливає, що в міру наближення вибою лави до замірної станції площа перерізу виробки зменшується за ступеневим законом, починаючи з відстані 60-80 м (фаза I), а потім середнє значення перетину залишається незмінним (фаза II):

$$S_{\text{осн I}} = 0,0013l^3 - 0,014l^2 - 1,5l + 33, \quad (1)$$

$$S_{\text{осн II}} = 7,8 = \text{const}, \quad (2)$$

де l - відстань від точки заміру до вибою лави, м (при $l = 15 - 20$ м).

Залишкове середнє значення перетину виробки дорівнює $7,8 \text{ м}^2$, що складає, приблизно, 70 % від початкової площі поперечного перерізу - $11,7 \text{ м}^2$.

Результати обстеження підготовчих виробок пласта h_8 на предмет цілісності металевого аркового кріплення та оцінки обсягів виконання ремонтних робіт для приведення їх в експлуатаційний стан показали, що після проходження хвилі опорного тиску на різних пікетах відсоток рам, які потребують ремонту, коливається від 0 до 100. У середньому ремонту підлягають, приблизно, 42 % рам металевого аркового кріплення.

Ця величина практично не залежить від глибини розташування виробок. На основі вимірів максимального підняття підшоши виробки і величини вертикальної конвергенції в момент проходження забоем лави вимірювальної станції були побудовані графіки, що наведені на рис. 2. Результати обробки даних натурних вимірів наведені на рис. 3.

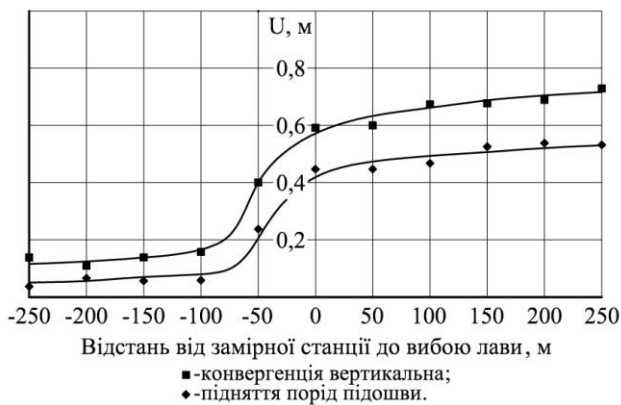


Рис. 2. Розвиток деформацій контуру виробки при наближенні вибою лави (9-й конвеєрний штрек)

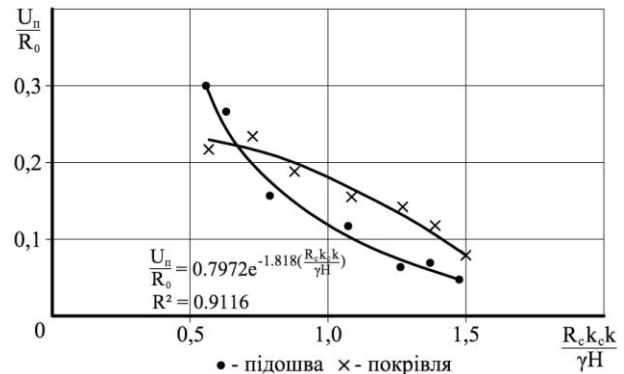


Рис. 3. Залежність вертикальної конвергенції і величини підняття підшоши від геомеханічного показника умов розробки θ

З них випливає, що максимальна величина підняття порід підшоши нелінійно залежить від геомеханічного показника умов розробки вугільних пластів і підпорядковується експоненційній залежності:

$$U_{II} = R_0 \times 0,8e^{-1,8\left(\frac{R_c k_c k}{\gamma H}\right)}. \quad (3)$$

Тут R_0 - півпроліт виробки, м; R_c - середньозважена межа міцності порід, що вміщуються, МПа; k_c - коефіцієнт структурного послаблення; k - коефіцієнт концентрації вертикальних напружень, що викликані дією вибою лави ($k = 1,8$); γ - середньозважена щільність гірських порід, що залягають в покрівлі, H - глибина розташування замірної станції в виробці.

Коефіцієнт структурного ослаблення в цій формулі визначався за наступними залежностями

$$k_c = \left[1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta) \right]. \quad (4)$$

Тут η - коефіцієнт варіації міцності масиву, що розраховується за формулою:

$$\eta = \sqrt{\frac{l_T + l_0}{l_T} (\eta_0^2 + 1)} - 1, \quad (5)$$

де l_T – середня відстань між тріщинами в масиві (згідно даних геологічної служби), см; l_0 – характерний розмір стандартного породного зразку, см; η_0 – коефіцієнт варіації міцності зразків при випробуваннях на одноосовий стиск.

Зіставляючи між собою криві деформування порід підоскви та покрівлі, наведені на рис. 5, слід зазначити наступне. До значень показника геомеханічних умов розробки $\theta > 1,0$ криві майже паралельні, а після значень $\theta < 1,0$ інтенсивність підняття порід підоскви зростає, а покрівлі, навпаки, падає і навіть стає величиною постійною. У роботах О.М. Шашенка, О.В. Солодянкіна, С.М. Гапеева, зазначається, що це є ситуація, яка відповідає початку процесу здимання порід підоскви в гірничих виробках. При цьому геомеханічні процеси, що протікають в породах покрівлі і підоскви, взаємопов'язані, хоча і протилежні за характером наростання зміщень контуру виробки.

З натурних досліджень випливає, що в зоні впливу очисних робіт виробка відчуває значні деформації з боку зруйнованого над лавою масиву. Для їх компенсації слід застосувати рамно-анкерне кріплення з певними параметрами і охоронну конструкцію з боку лави відповідної ширини і жорсткості. За оцінкою спеціалістів шахти, для того, щоб повторне використання виробки було економічно доцільним, необхідно, щоб площа поперечного перерізу зменшувалася на величину не більше 30 %, кількість дефектних рам - не більше 40 %, величина підривання порід підоскви не більше 0,4 м.

Критерієм для повторного використання виробки обґрунтована величина зміщень контуру, що дорівнює 0,4 м. Розрахункова схема до визначення величини граничних зміщено контуру виробки наведена на рис. 4.

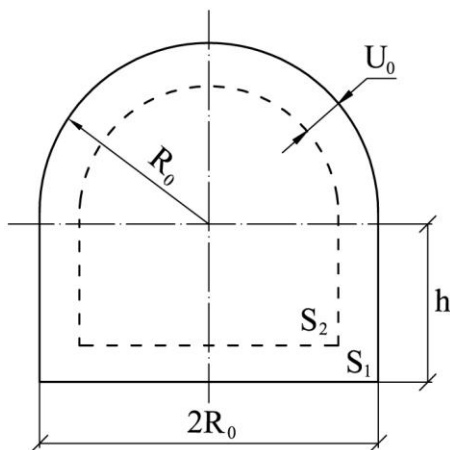


Рис. 4. До визначення граничного значення втрати поперечного перерізу підготовчої виробки

Площа повного початкового перетину виробки в проходці визначається, виходячи з кількості та габаритів транспортних засобів і необхідних зазорів, що регламентуються ПБ. Його величину досить точно можна визначити за наступною залежністю (див. рис. 4):

$$S_1 = \frac{1}{2} \pi R_0^2 + 2R_0 h, \quad (6)$$

де R_0 - півпроліт виробки, в проходці, h - висота прямолінійної частини стойки.

Виробка потребує ремонту в тому випадку, якщо площа її початкового поперечного

перерізу зменшилася на 30-40 %, тобто:

$$S_2 = (0,7 \div 0,6) S_1. \quad (7)$$

Тут S_2 - мінімально припустима площа виробки внаслідок впливу гірничого тиску. Вона визначається за формулою:

$$S_2 = \frac{1}{2} \pi (R_0 - U'_0)^2 + (R_0 - U'_0)(h - U'_0), \quad (8)$$

де U'_0 - граничне значення зміщень контуру виробки.

З урахуванням (6), (7) и (8) отримаємо:

$$S_1 - S_2 = 0,4S, \quad \text{або} \quad U'_0{}^2 \left(\frac{1}{2} \pi + 2 \right) - U'_0 (\pi R_0 + 2R_0 + 2h') - 0,3S_1 = 0. \quad (9)$$

$$\text{Тоді } U'_0 = \frac{19,7 - \sqrt{19,7^2 - 4 \cdot 3,57 \cdot 4,71}}{2 \cdot 3,57} = 0,4 \text{ м.}$$

У результаті розрахунків доведено, що для розглянутих гірничотехнічних і гірничо-геологічних умов гранична величина зміщень контуру виробки не повинна перевищувати 0,4 метри. Це повинно бути забезпечено відповідними параметрами охоронної конструкції в лаві при заданій конструкції кріплення у виробці.

За основний об'єкт для чисельного моделювання був обраний 9-й конвеєрний штрек 9-ї східної лави пласта h_8 . Мета досліджень полягає в тому, щоб обґрунтувати такі параметри кріплення та охоронного елемента, при якому стане можливим повторне використання підготовчої виробки. При цьому передбачається вирішення двох основних задач:

- обґрунтування геометричних параметрів охоронного елемента на сполученні «лава-штрек»;
- обґрунтування параметрів рамно-анкерного кріплення.

У дисертації досліджено фізичну модель вибраного об'єкту. На ній виділені два характерних перерізу: поза зоною впливу лави і в зоні впливу очисних робіт. В якості охоронного елемента розглянуті конструкції з відповідного матеріалу, які, працюючи спільно з рамно-анкерним кріпленням, забезпечать такі залишкові розміри виробки, при яких можлива її повторна експлуатація.

Напружено-деформований стан досліджуваної області масиву, що містить комплекс гірничих виробок, в дисертації визначався на основі методу скінчених елементів. Для реалізації цього методу в роботі використовувалася ліцензійна обчислювальна програма «Phase 2» канадської компанії Rocscience. Послідовність розрахунків складалася з трьох стадій:

- стадія 1 - моделювання породного масиву поза межами впливу лави;
- стадія 2 - імітація проведення 3 східного конвеєрного штреку пласта, шляхом «зняття» напружень по заданому контуру виробки;
- стадія 3 - імітація підходу лави (штрек у вікні лави) шляхом зміни граничних умов по контуру перетину очисної виробки.

При реалізації стадії 3 вплив на виробку відпрацьованого простору лави було враховано шляхом введення в граничні умови (зовнішнє навантаження) коефіцієнта 1,8, який був отриманий відповідно до методики, викладеної в роботі Король Г.Ю. Спочатку моделювалася одиночна виробка. Потім, з урахуванням сформованого поля напружень і деформацій, шляхом зміни граничних умов імітувався підхід лави до штреку. Охорону виробки у вікні лави на шахтах

ДП «Антрацит» здійснюють шляхом або залишення вугільного цілика, або викладання охоронної смуги з буту, твердіючої суміші «текхард» або деревини.

Для визначення області зруйнованих порід навколо виробок був використаний критерій Хоека-Брауна:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a .$$

Тут σ_1 і σ_3 - максимальні та мінімальні напруження в масиві; m_b - константа Хоека-Брауна для породного масиву; s і a – постійні величини, які вибираються для даної літологічної різниці з бази даних, що міститься в додатку до обчислювальної програми; σ_{ci} – межа міцності на одноосьовий стиск масиву порід.

У результаті проведених геомеханічних розрахунків доведено, що при своєчасній і якісній установці анкерів відразу після проходки можна не тільки зменшити зміщення порід, але і попередити розвиток зони руйнування.

При попаданні перерізу штреку у вікно лави інтенсивність зміщень значно зростає. На рис. 5 наведені значення та вектори напрямку зміщень навколо виробки у випадку, коли охоронна конструкція виконана з матеріалу «текхард».

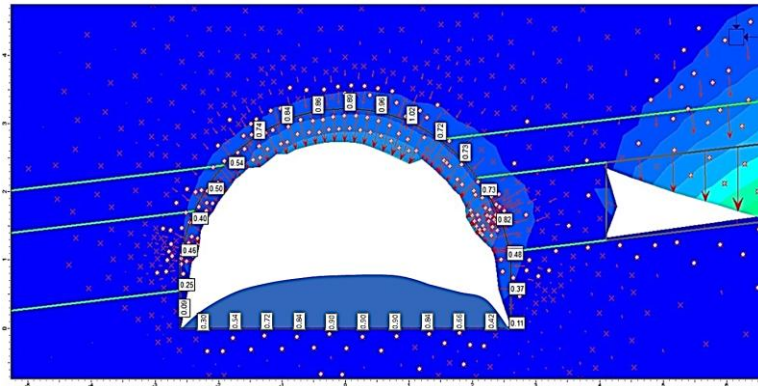


Рис. 5. Вільні переміщення контуру виробки на сполученні з лавою (стадія 2 моделювання), з використанням охоронного елемента із суміші «текхард»

Зменшення перерізу 9-го східного конвеєрного штреку пласта після проходки лави (у порівнянні з перерізом у проходці) слід очікувати за шириною до величини 3,92 м, за висотою - до 2,18 м.

Таким чином, у зоні впливу очисних робіт виробка відчуває значні деформації з боку зруйнованого над лавою масиву, для компенсації яких недостатньо установки рамного кріплення з кроком 0,8 м. Оскільки збільшення щільності металевих кріплень веде до значних витрат, найбільш раціональним рішенням є зміцнення порід анкерами, тобто використання рамно-анкерного комбінованого кріплення. З метою визначення параметрів такого кріплення у дисертації розглянута можливість запобігання розвитку зсувів шляхом установки анкерів першого і другого рівнів та варіантів охоронної конструкції.

Оцінка міцності стрічкового цілика визначена на основі критерію міцності Л.Я Парчевського - О.М.Шашенка:

$$\sigma_e = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2}{\sigma_1 + \sigma_3} = R_c k_c. \quad (10)$$

Тут σ_e - напруження еквівалентні одноосьовим; σ_1 и σ_3 - головні напруження, R_c - межа міцності матеріалу охоронної конструкції на одноосьовий стиск, k_c - коефіцієнт структурного ослаблення, що розраховується за формулами (4) и (5).

Запас міцності матеріалу охоронної конструкції, що знаходиться в об'ємному напруженому стані, оцінювався за формулою:

$$k_3 = \frac{R_c k_c}{\sigma_e}. \quad (11)$$

Досліджується найбільш ймовірно по відношенню руйнування центральний переріз стрічкового цілика $O'-O'$ (рис. 6). Ліворуч від охоронної конструкції примикає виробка, праворуч - вироблений простір лави. Розподіл коефіцієнта запасу міцності охоронної конструкції вздовж лінії $O'-O'$ ймовірно має вигляд кривої.

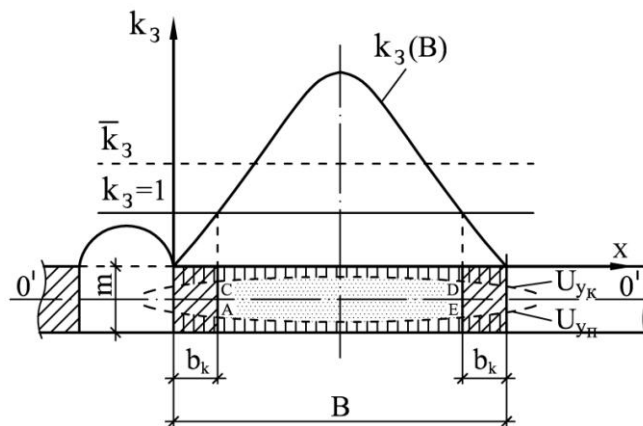


Рис. 6. Розрахункова схема до оцінки напружено-деформованого стану охоронного цілика (конструкції)

На рис. 7 наведені результати розрахунків для охоронних конструкцій різної ширини.

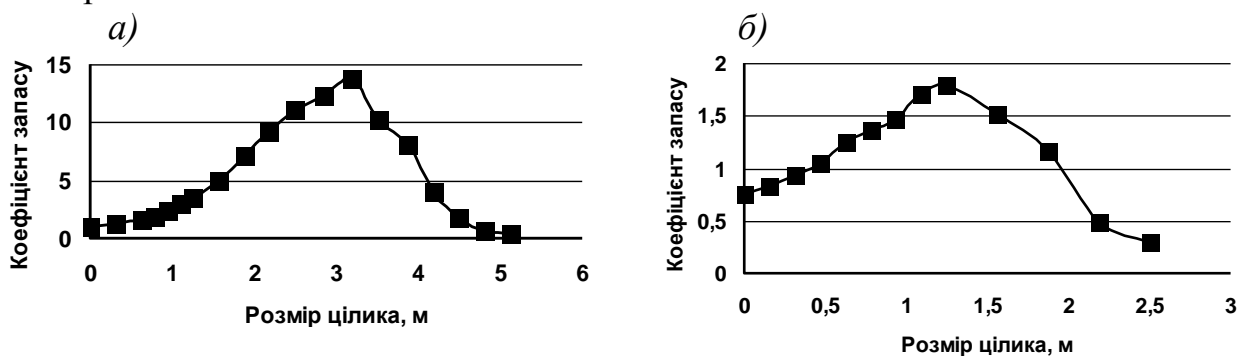


Рис. 7. Зміна коефіцієнта запасу міцності вздовж центральної лінії охоронної конструкції: а) $\frac{B}{t} = 4$; б) $\frac{B}{t} = 2$

На рис. 8 показано формування ядра жорсткості в центральній частині охоронної конструкції в міру збільшення його ширини. Воно істотно підвищує

несучу здатність цілика як конструктивного елемента геомеханічної системи «кріплення підготовчої виробки-охоронна конструкція лави».

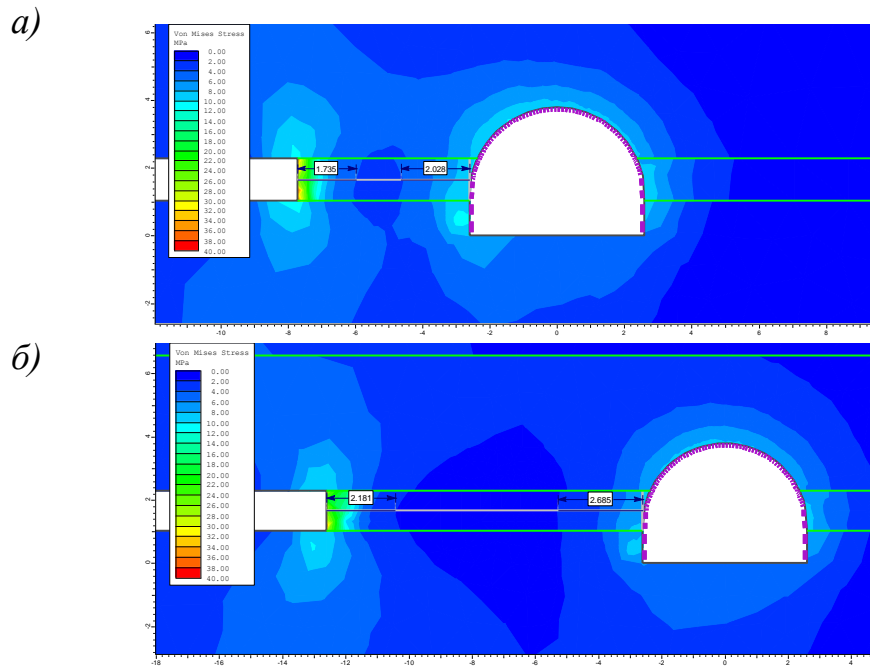


Рис. 8. Збільшення міцності цілика по мірі зростання його ширини:

$$\text{а) } \frac{B}{m} = 4 ; \text{ б) } \frac{B}{m} = 8$$

Дослідження показали, що характер зміни величини коефіцієнта запасу міцності цілика уздовж його найбільш схильні до руйнування центральної лінії підпорядковується поліноміальній залежності

$$k_3 = k_3(x) = ax^5 - bx^4 + cx^3 - dx^2 + ex - f, \quad (12)$$

де a , b , c , d , e , f - коефіцієнти апроксимації, величина яких залежить від ширини цілика.

Залежність (12) характеризує зміну коефіцієнта запасу міцності цілика уздовж середньої його лінії від точки до точки. Середнє ж його значення можна визначити, інтегруючи ці величини уздовж цієї лінії. Тоді величина інтегрального значення коефіцієнта запасу міцності визначиться наступним чином:

$$\bar{k}_3 = \frac{1}{B - 2e_k} \int_{e_k}^{B-e_k} k_3(x) dx. \quad (13)$$

Величина зруйнованих крайових частин визначається за формулою (12) наступним чином:

$$k_3 = e_k - f = 1, \quad (14)$$

виходячи з того, що $a = e = c = d = 0$.

Однак, вплив цілика на стійкість підготовчої виробки не обмежується його міцністю. Значною мірою збереження виробки залежить і від вертикальної податливості охоронної конструкції, яка в розглянутих гірничо-геологічних умовах повинна забезпечувати зміщення контуру виробки (особливо підошви), що не перевищують 0,4 м. Це залежить від жорсткості охоронної конструкції, яка визначається за формулою

$$G = \frac{\sigma_y B}{U_y}. \quad (15)$$

Тут σ_y и U_y - величина вертикальних напружень і переміщень по верхній кромці охоронної конструкції, B - ширина охоронної конструкції.

Результати розрахунків наведено на рис. 9-10.

З них випливає, що для повторного використання виробки при заданій системі кріплення та забезпеченні гранично допустимої величини зміщень контуру 0,4 м, мінімально допустима ширина вугільного цілика повинна дорівнювати 5,0 м, для смуги з матеріалу «текхард» - 2,5 м, для смуги з шпал - 1,6 м.

При цьому на рис. 10 видно, що цим величинам ширини ціликів відповідають наступні значення інтегрального коефіцієнта запасу міцності: вугілля – $\bar{k}_z = 7,0$; «текхард» – $\bar{k}_z = 5,5$; дерево – $\bar{k}_z = 2,0$.

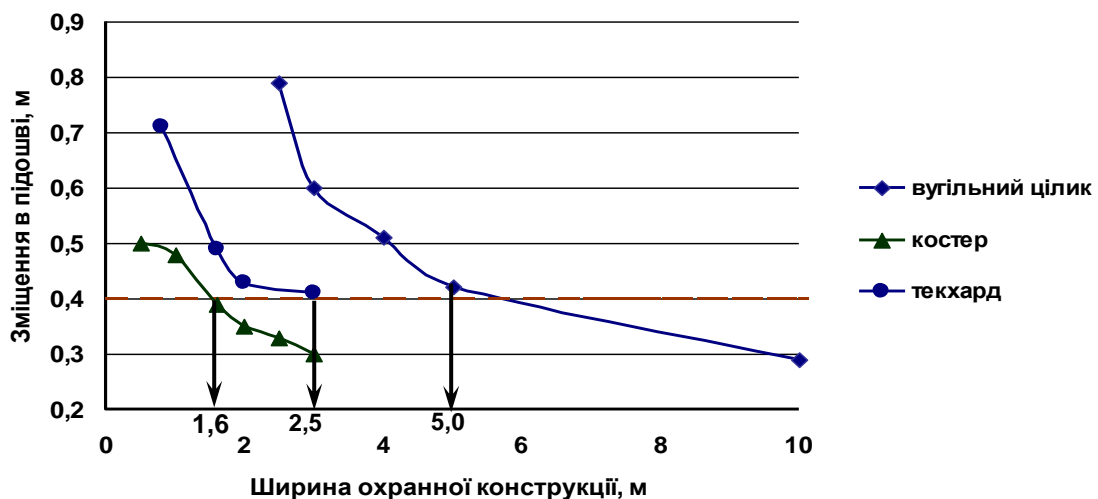


Рис. 9. Залежність величини підняття підшви у виробці від ширини і жорсткості охоронного елемента

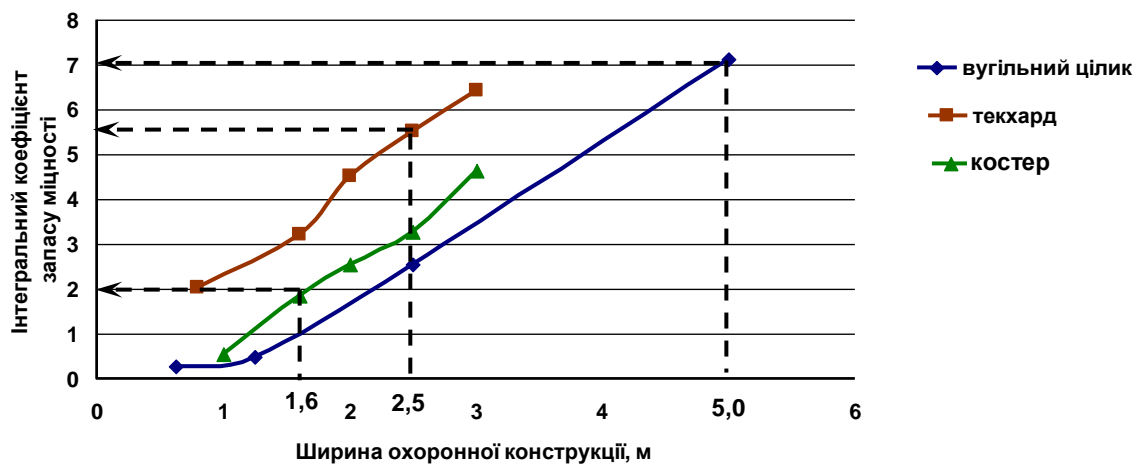


Рис. 10. Залежність інтегрального коефіцієнта запасу міцності від ширини цілика

У дисертації виконана оптимізація проектної анкерної системи, виходячи з умови забезпечення рівномірних зміщень по контуру виробки, що не переви-

щують 0,4 метри. У результаті обчислень доведено (рис. 11), що оптимальним кутом нахилу анкерів № 6 та № 7 є кут 60° , а не 40° , як це заявлено в паспорті кріплення (див. рис. 13,а).

Варіація місця розташування канатного анкера також показала, що найбільш раціональне місце його розташування до поздовжньої балки знаходиться на відстані від центру 1,25 метра. При цьому зміщення підшви не перевищують допустимі 0,4 м (рис. 12).

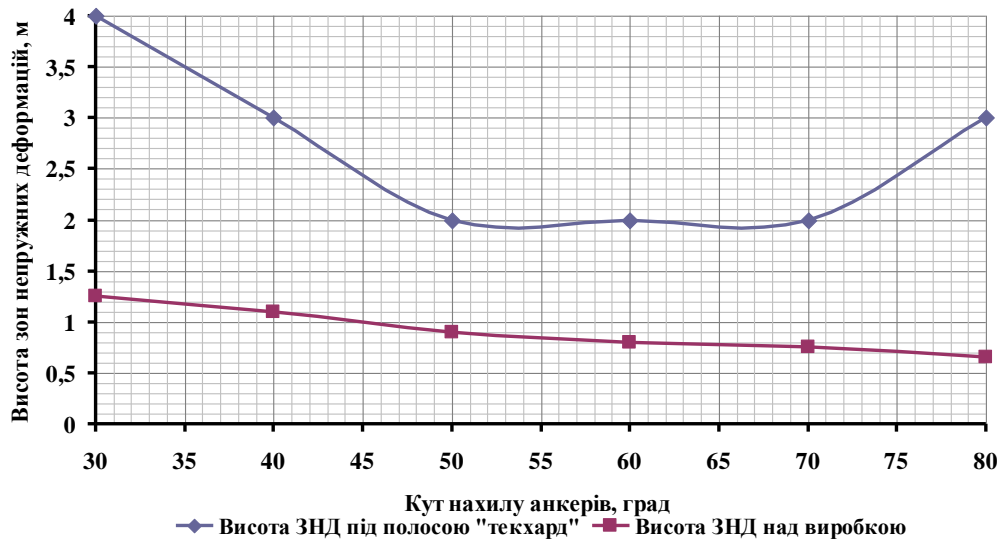


Рис. 11. Графік залежності висоти зони непружних деформацій над виробкою і над смугою «текхард» від кутів нахилу анкерів № 6 та № 7

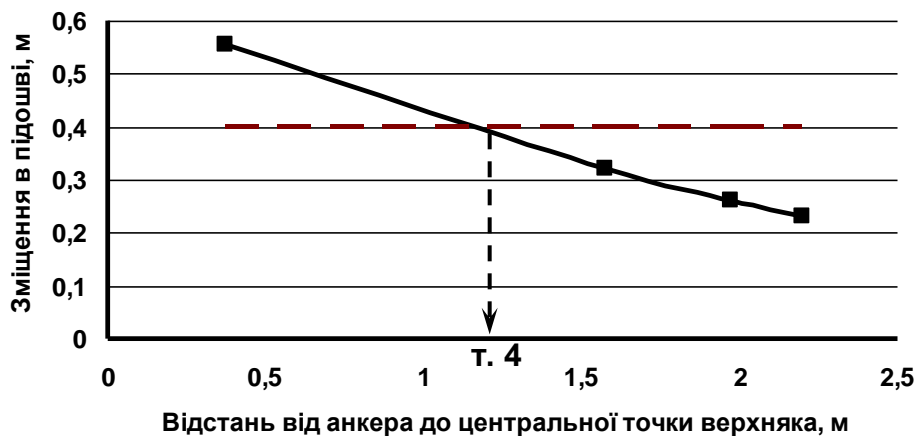


Рис. 12. Залежність зміщень підшви виробки від місця розташування канатного анкера

На рис. 13,б показаний поперечний переріз штреку на місці сполучення з лавою з рекомендованими параметрами анкерної системи і охоронної конструкції.

Переміщення контуру не перевищують 0,4 метра, що дає можливість використовувати виробку повторно.

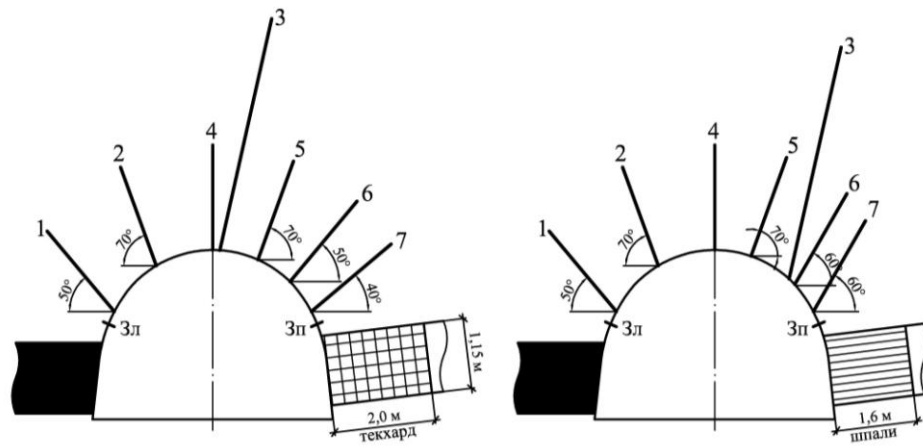


Рис. 13. Перерізи 9-го конвеєрного штреку 9-ї східної лави пласта:
а) проектний; б) рекомендований

Для обґрунтування матеріалу охоронного елемента в дисертації виконано економічне порівняння різних варіантів (табл. 1), звідки випливає, що найменш витратним варіантом є застосування захисної смуги зі шпального бруса.

Економічний ефект при цьому тільки за рахунок зменшення ремонтних робіт у виробці та застосування менш дорогого матеріалу для охоронної конструкції складе 17,19 тис. гривень на погонний метр виробки.

Таблиця 1

Підсумкові вартісні показники кріплення і ремонту 9-го конвеєрного штреку на ділянках з різними охоронними конструкціями

№ п/п	Види робіт	Вартість робіт, тис. грн/100 п.м.		
		Вугільний цілик	Органне кріплення і «текхард»	Шпальний брус
1	Кріплення	1 727,96	3 592,34	2 111,01
2	Ремонт	792,57	1 031,09	792,57
3	Вартість нетоварного вугілля в цілику (втрачений дохід)	1 125	-	-
Всього		3 645,53	4 623,43	2 903,58
Всього на 1 п.м.		36,46	46,23	29,04

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей деформування геомеханічної системи «кріплення виробки-охоронна конструкція лави» вирішене актуальне науково-технічне завдання, яке полягає в обґрунтуванні можливості повторного використання конвеєрних штреків глибоких вугільних шахт при суцільній системі розробки.

Основні наукові та практичні рекомендації та висновки полягають у наступному.

1. Виконаний аналіз стану вугільної промисловості України в поточний період, що дозволило зробити висновок про необхідність зниження собівартості вугілля. Одним з ефективних шляхів для цього є повторне використання підготовчих виробок.

2. Виконаний аналіз засобів і способів забезпечення стійкості підземних гірничих виробок, що знаходяться в зоні впливу очисних робіт. Це дозволило зробити висновок про те, що забезпечити збереження штреків для повторного їх використання можна тільки, розглядаючи спільне деформування геомеханічної системи «кріплення виробки-охоронна конструкція лави».

3. Обґрунтований критерій схоронності виробки, яка призначена для повторного використання, в якості якого прийняті переміщення породного контуру, рівні 0,4 м.

4. Поставлена і вирішена задача щодо необхідних розмірів охоронної конструкції, що забезпечує допустиму величину деформацій контуру виробки при заданих параметрах рамно-анкерного кріплення.

5. Виконано оптимізацію розташування анкерів першого та другого рівнів, а також ширини охоронної конструкції, які забезпечують у відповідності з прийнятим критерієм збереження виробок для повторного використання.

6. Поставлена і вирішена задача економічної доцільності застосування систем охорони підготовчої виробки, що дозволило рекомендувати допустимі параметри геомеханічної системи «кріплення виробки-охоронна конструкція лави».

7. Розрахунковий економічний ефект склав 17,19 тисяч гривень на погонний метр виробки, що використовується повторно.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Попович И.Н. Итоги работы предприятий угольной промышленности Украины в 2011 году / И.Н. Попович // Уголь Украины – 2012. – № 1. – С. 3-5.

2. Попович И.Н. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Украины / И.Н. Попович // Уголь Украины. – 2013. – № 10. – С. 3-6.

3. Попович И.Н. Устойчивость развития угольной отрасли – приоритет государства / И.Н. Попович // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2014. – № 2. – С. 30-35. (Наукометрична база даних Scopus).

4. Попович И.Н. Геомеханическая оценка эффективности крепления и охраны участковых выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» / Е.А. Сдвижкова, И.Н. Попович, И.В. Дудка, О.А. Кузьева // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М.Остроградського. – 2014. – № 4. – С. 82-91. (Наукометрична база Index Copernicus).

5. Попович И.Н. Исследования геомеханических процессов на сопряжение подготовительной выработки с лавой в условиях шахты «Комсомольская» ГП «Антрацит» / Е.А. Сдвижкова, И.Н. Попович, И.В. Дудка // Сучасні ресурсое-

нергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Випуск 2 (14). – С. 72-79. (Наукометрична база Index Copernicus).

6. Попович І.М. До питання визначення коефіцієнта запасу міцності вугільних ціликів / І.М. Попович, О.Є. Григор'єв, І.В. Дудка // Уголь України. – 2014. – № 12. – С. 20-23.

7. Попович І.М. Технологія анкерного кріплення гірничих виробок на шахтах України: стан і перспективи / А.Ф. Булат, І.М. Попович, О.В. Вівчаренко, О.П. Круковський // Уголь України. - 2014. - № 2. - С. 3-7.

8. Попович И.Н. Численное моделирование процесса пучения пород почвы в горных породах / А.Н. Шашенко, К.В. Кравченко, И.Н. Попович, А.Ю. Король // «Форум гірників - 2013»: Матеріали міжнародної конференції 2-5 жовтня 2013 р. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. Т. 2. Геомеханіка і геотехніка. – С. 170-175.

9. Попович И.Н. Обоснование мероприятий по повышению устойчивости подготовительных выработок ОП «Шахта «Партизанская» ГП «Антрацит» / А.В. Солодянкин, И.Н. Попович, И.В. Дудка // Перспективы развития строительных технологий: материалы 8-й Международ. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 24-26 апреля 2014 г. – Д.: НГУ, 2014. – С. 85-90.

10. Попович И.Н. Исследование эффективности элементов крепления и охраны выемочных выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» / Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкин, И.Н. Попович, И.В. Дудка // Форум гірників-2014: Матеріали міжнародної конференції 1-4 жовтня 2014 р. Т. 2. Геомеханіка і геотехніка. – Дніпропетровськ: РВК НГУ. – 2014. – С. 97-103.

11. Попович И.Н. Обоснование параметров способа повышения устойчивости участковых выработок ОП «Шахта «Комсомольская» ГП «Антрацит» // Розробка, використання та екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин: матеріали XI Міжнародної наук.-техн. конф., Кременчук-Свалява, 1-7 лютого 2015 р. – Кременчук: КрНУ, 2015. – С. 71-74.

12. Попович И.Н. Обоснование параметров способа охраны выработок для повторного использования на ОП «Шахта «Комсомольская» ГП «Антрацит» / И.Н. Попович // Міжнародна науково-технічна конференція «Сталий розвиток промисловості та суспільства» 21 травня, 2015 р. Т. 1. – Криворізький національний університет. - 2015. – С. 20-21.

Особистий внесок автора у роботах, що опубліковані у співавторстві: [4, 5] – виконання натурних досліджень; розрахунків, аналіз результатів; [6, 7] – аналітичні дослідження, обробка результатів аналітичних досліджень; [8, 9] – розробка рекомендацій [10, 11] – обґрунтування можливостей повторного використання підготовчих виробок.

АНОТАЦІЯ

Попович І.М. Обґрунтування параметрів способу забезпечення стійкості підготовчих виробок, що використовуються повторно в умовах глибоких вугільних шахт. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.04. – «Шахтне і підземне будівництво». – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» – Дніпропетровськ, 2015.

У дисертації поставлена і вирішена актуальна науково-технічна задача обґрунтування таких параметрів кріплення підготовчої виробки та охоронної конструкції лави, при яких можливе повторне використання штреку.

Метою досліджень виконаних в дисертації, є встановлення закономірностей прояву гірського тиску в підготовчих виробках глибоких шахт, що добувають антрацит, і обґрунтування таких параметрів комбінованого рамно-анкерного кріплення та охоронної конструкції на сполученні з лавою, при яких економічно доцільно використовувати штрек повторно.

В якості основного об'єкта досліджень обрана шахта «Комсомольська» ДП «Антрацит». Натурні вимірювання виконувалися в підготовчих виробках східного блоку. Нижній штрек проводиться з випередженням по відношенню до забою лави на 200 м. Кріплення виробки - рамно-анкерне. Охоронна конструкція на сполученні «штрек-лава» споруджується з мішків з сумішшю «текхард».

В результаті виконання натурних вимірів в однотипних виробках встановлено, що критерієм для повторного використання виробки обґрунтована величина зсувів контуру, що дорівнює 0,4 м.

На основі обґрунтованого критерію вирішена задача про вибір матеріалу охоронного пристрою, його розмірах і оцінений інтегральний коефіцієнт запасу міцності, що дозволило забезпечити збереження виробки для її повторного використання.

Виконано оптимізацію розташування анкерів другого і першого рівнів, що дозволило звести до мінімуму ремонтно-відновлювальні роботи у виробці.

Виконана економічна оцінка від використання запропонованих рекомендацій для умов шахти «Комсомольська».

Очікуваний економічний ефект склав 17,19 тисяч гривень на метр повторно використовуваної виробки.

Ключові слова: повторне використання, підготовча виробка, критерій стійкості, рамно-анкерне кріплення, охоронні конструкції, здимання порід піддошви, коефіцієнт запасу міцності.

АННОТАЦІЯ

Попович И.Н. Обоснование параметров способа обеспечения устойчивости повторно используемых подготовительных выработок глубоких угольных шахт. – 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» – Днепропетровск, 2015.

В диссертации поставлена и решена актуальная научно-техническая задача обоснования таких параметров крепления подготовительной выработки и ох-

ранной конструкции лавы, при которых возможно повторное использование штрека.

Угольные месторождения Украины характеризуются сложными условиями разработки, большой глубиной залегания пластов, динамическими и статическими проявлениями горного давления. Всё это приводит к увеличению себестоимости добываемого угля, снижению его конкурентной способности. Одним из способов снижения затрат при добыче угля является повторное использование подготовительных выработок и применение безцеликовых охранных устройств на сопряжении «лава-штрек».

Целью исследований выполненных в диссертации, является установление закономерностей проявления горного давления в подготовительных выработках глубоких шахт, добывающих антрацит, и обоснование на этой основе таких параметров комбинированной рамно-анкерной крепи и охранной конструкции на сопряжении с лавой, при которых экономически целесообразно использовать штрек повторно.

В качестве основного объекта исследований выбрана шахта «Комсомольская» ГП «Антрацит». Натурные измерения выполнялись в подготовительных выработках восточного блока, в пределах которого выемка угля осуществляется при сплошной системе разработки. Нижний штрек проводится с опережением по отношению к забою лавы на 200 м. Крезь выработки – рамно-анкерная. Охранная конструкция на сопряжении «штрек-лава» сооружается из мешков со смесью «текхард».

В результате выполнения натурных измерений в однотипных выработках установлено, что поперечное сечение их после воздействия опорного давления от забоя лавы уменьшается на 30-40 %, среднее количество металлических рам, требующих ремонта, составляет от 100 до 40 %, величина подрывки пород почвы равна 0,6-0,7 м. Для того, чтобы повторное использование выработки было экономически целесообразным, необходимо, чтобы площадь поперечного сечения, уменьшалась на величину не более 30 %, количество дефектных рам – не более 40 %, величина подрывки пород почвы – 0,4 м. Критерием для повторного использования выработки обоснована величина смещений контура, равная 0,4 м.

На основе обоснованного критерия решена задача о выборе материала охранного устройства, его размерах и оценен интегральный коэффициент запаса прочности, что позволило обеспечить сохранность выработки для её повторного использования.

Выполнена оптимизация расположения анкеров второго и первого уровней, что позволило свести к минимуму ремонтно-восстановительные работы в выработке, включая уборку вспученных пород почвы.

Разработаны и приняты к использованию «Рекомендации по определению параметров рамно-анкерной крепи и охранных конструкций повторно используемых подготовительных выработок».

Выполнена экономическая оценка от использования предложенных рекомендаций для условий шахты «Комсомольская».

Ожидаемый экономический эффект составил 17,19 тысяч гривен на метр повторно используемой выработки.

Ключевые слова: повторное использование, подготовительная выработка, критерий устойчивости, рамно-анкерная крепь, охранные конструкции, пучение пород почвы, коэффициент запаса прочности.

ANNOTATION

Popovych I.M. Substantiation of method parameters to ensure the stability of reusable development excavations of deep coal mines. – Manuscript.

Dissertation for obtaining the degree of candidate of technical sciences on specialty 05.15.04. - "Mine and Underground Construction" - State Higher Educational Institution "National Mining University" - Dnepropetrovsk, 2015.

An actual scientific and technical problem related to justification of parameters of a roadway lining and longwall support construction are stated and solved in the dissertation to ensure the reuse of the excavation.

The research purpose is to determine the regularities of rock pressure manifestation in development excavations of deep mines while anthracite mining.

The main object of research is the mine "Komsomolskaya" of the company "Anthracite". In-situ measurements have been carried out in roadways of the mine eastern bloc. Under given condition the lower roadway is driven 200 meters ahead of the longwall face. The excavation is supported with arch metal sets and roof bolts. A conjugation "roadway-longwall" is supported by bags filled with a mixture "Tekhard."

The value of contour displacement which equals 0,4 m, is justified as a criterion of a roadway re-using.

The choice of material for the support of conjugation "roadway-longwall" and dimensions of support construction are based on the developed criterion. The integral safety factor is estimated as well. This allowed to provide the safety of the roadway and gave a possibility of reusing.

Location of the roof bolts is optimized for first and second levels of the support. This minimized the repair activity in the excavation and cleaning the floor heaving.

The economic assessment of the recommendation usage is carried out in terms of the mine "Komsomolskaya".

An expected economic effect is 17190 hryvnia per meter of reused excavation.

Keywords: re-use, excavation, stability criterion, roof bolting, safety construction, floor heaving, safety factor.

Попович Ігор Миколайович

**Обґрунтування параметрів способу забезпечення стійкості
підготовчих виробок, що використовуються повторно
в умовах глибоких вугільних шахт**

(Автореферат)

Підп. до друку 10.09.2015. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 105 пр. Зам. №

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

