

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ПЕРЕПЕЛИЦЯ Борис Олександрович**



**УДК 622.281.5**

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК  
В УМОВАХ ВИВАЛОУТВОРЕННЯ ПОРІД ПОКРІВЛІ  
(НА ПРИКЛАДІ ШАХТ ДП «ДОНБАСАНТРАЦИТ»)**

**Спеціальність 05. 15. 04 – «Шахтне та підземне будівництво»**

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

**Дніпропетровськ – 2010**

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана у Державному підприємстві «Донбаський науково-дослідний та проектно-конструкторський вугільний інститут» (ДонНДІ) Міністерства вугільної промисловості України (м. Горлівка)

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, доцент  
**Рябічев Віктор Дронович,**  
професор Антрацитівського факультету гірничої справи і транспорту Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля Міністерства освіти і науки України (м. Антрацит, Луганська обл.)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Бузило Володимир Іванович,**  
декан гірничого факультету, професор кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ)

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

Захист відбудеться "7" липня 2010 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08. 080. 04 у Національному гірничому університеті  
Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України.

Автореферат розісланий "7" червня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

О.В. Солодянкін

Перепелиця Борис Олександрович

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК  
В УМОВАХ ВИВАЛОУТВОРЕННЯ ПОРІД ПОКРІВЛІ  
(НА ПРИКЛАДІ ШАХТ ДП «ДОНБАСАНТРАЦИТ»)

Автореферат

Підписано до друку 27.05.10. Формат 60x90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 прим. Зам. №

Національний гірничий університет  
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Донецький вугільний басейн є одним з основних постачальників високоякісного вугілля для енергетичної і металургійної галузей. Однією з характерних особливостей цього родовища є висока тектонічна порушеність. Розривні порушення проникають на глибину до 3,5 км, мають амплітуду зсувів від декількох сантиметрів до сотень метрів і більш. Дослідження, що виконані в Донбасі, показують, що розривні порушення з амплітудою до 5 м в загальній будові басейну складають 83 %.

Збільшення глибини видобутку вугілля призвело до формування великих зон зруйнованих порід навколо виробок. З цієї причини істотно погіршився стан протяжних виробок, зросли витрати на їх підтримку. Особливі складнощі викликають випадки вивалоутворень, що часто виникають в очисних і підготовчих виробках. Так, наприклад, ліквідація завалів виробок збільшує витрати на ремонт в 2...3 рази. На багатьох шахтах об'єднань «Шахтарськвугілля», «Артемвугілля», «Дзержинськвугілля» та ін. значний об'єм робіт пов'язаний з відновленням виробок внаслідок завалів або з випуском порід під час їх ремонту.

Ці особливості необхідно враховувати при будівництві і підтримці виробок, оскільки зони геологічних порушень і значні області деформованих порід характеризуються інтенсивною тріщинуватістю та вивалоутворенням.

Вивалоутворення, порушуючи рівноважний стан, негативно позначається на стані породного масиву, тому оцінка можливості виникнення вивалів та їх дії має істотне значення при будівництві та підтримці гірничих виробок.

У зв'язку з цим розробка методів прогнозування вивалоутворень в гірничих виробках і способів їх попередження з урахуванням геомеханічного стану вміщуючого породного масиву є актуальним науково-технічним завданням, що має важливе значення для гірничодобувної галузі.

**Зв'язок роботи з науковими проблемами, планами і темами.** Дісертаційна робота виконувалася відповідно до тематичного плану держбюджетних НДР ДонНДІ: Н14-03 «Вдосконалення і розробка способів підтримки гірничих виробок глибоких шахт на основі ресурсозберігаючих технологій» (№ ГР 0103U004909) – відповідно до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки України «Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці».

**Метою роботи** є обґрунтування параметрів комплексу технологічних рішень з попередження вивалоутворень при будівництві та експлуатації гірничих виробок.

**Ідея роботи** полягає в урахуванні особливостей розвитку великих статичних деформацій, що призводять до вивалоутворення в геомеханічних моделях, методиках прогнозу стану виробок і способах забезпечення стійкості

виробок.

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

- встановлені закономірності формування вивалоутворень і параметри оголень, що утворюються, з оцінкою їх подальшого стану;
- виконані експериментальні дослідження процесу формування вивалу в шахтних і лабораторних умовах;
- досліджені геомеханічні процеси формування вивалів залежно від гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов.
- розроблені методичні основи прогнозу вірогідності, часу і величини вивалоутворень в конкретних умовах розташування виробки;
- розроблені та впроваджені рекомендації з попередження вивалоутворень порід в гірничих виробках.

**Об'єктом досліджень** є напружено-деформований стан (НДС) породного масиву навколо гірничих виробок при їх проведенні і експлуатації.

**Предметом досліджень** є параметри деформаційних процесів в масиві навколо виробки та параметри способів управління стійким станом системи «породний масив-кріплення-виробка».

**Методі досліджень.** У роботі використаний комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення результатів раніше виконаних досліджень за темою роботи, методи механіки гірських порід, метод лабораторних досліджень на зразках порід, натурні інструментальні спостереження, метод статистичної обробки результатів досліджень, шахтні експерименти для встановлення ступеня відповідності теоретичних і практичних результатів та апробації запропонованих розробок.

**Наукові положення, що захищаються у дисертації:**

– зона зруйнованих порід, що зумовлює розміри вивалу, на пружній стадії деформації формується розтягуючим радіальним напруженням, що досягає величини  $0,35 \gamma H$  і стискаючим нормальним напруженням величиною  $1,6 \gamma H$  і досягає глибини  $(0,4 \dots 0,6)$  відносного радіусу зони непружних деформацій ( $r_L$ ), що дозволяє обгрунтовано приймати параметри способу підвищення стійкості виробок;

– величина критичних значень зміщень контура виробки, що призводять до вивалу, нелінійно залежить від міцності порід, при цьому абсолютна їх величина на 15-20 % нижче для порід шаруватих, що дозволяє оцінити величину навантаження на кріплення виробки.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше встановлена послідовність геомеханічних процесів, що призводять до формування вивалоутворення.

2. Вперше встановлені залежності параметрів вивалоутворень від стану та інтенсивності деформаційних процесів в масиві навколо виробки, що дозволяє виконувати оцінку параметрів вивалу і часу його розвитку в конкретних умовах експлуатації виробок глибоких вугільних шахт.

3. Вперше встановлений вплив величини здимання порід підшоши виробки на процес формування вивалу.

**Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій** підтверджується коректним використанням основних положень механіки гірських порід; застосуванням сучасних методів теоретичних досліджень, включаючи метод математичного моделювання на ЕОМ; значним об'ємом і коректністю постановки експериментальних досліджень, виконаних в лабораторних і шахтних умовах; задовільною збіжністю результатів аналітичних досліджень і шахтних інструментальних спостережень за зміщеннями породних оголень у виробці і вимірами знов утворених породних оголень (розбіжність не перевищує 16 %); позитивними результатами перевірки теоретичних результатів досліджень в шахтних умовах та їх впровадженням.

**Наукове значення роботи** полягає в розкритті закономірностей механізму формування вивалоутворень і подальшому розвитку уявлень про геомеханічні процеси в породному масиві, що вміщує виробку.

**Практичне значення роботи** полягає у наступному:

1. Розроблені методичні положення для прогнозування основних параметрів вивалоутворень.

2. Розроблені рекомендації з попередження розвитку вивалоутворень, що забезпечує підвищення стійкості гірничих виробок і зниження витрат на їх підтримку.

3. Розроблена методика розрахунку параметрів способу забезпечення стійкості виробок в умовах вивалоутворень порід та наведені приклади її застосування.

**Реалізація висновків і рекомендацій роботи.** Рекомендації із застосування способу попередження вивалоутворень і забезпечення стійкості

гірничих виробок реалізовані на шахтах ДП «Дзержинськвугілля» і ДП «Артемвугілля» з розрахунковим економічним ефектом 45 тис. грн/рік.

За результатами роботи ДонНДІ затверджений нормативний документ «Рекомендації з попередження вивалоутворення в гірничих виробках».

**Особистий внесок здобувача.** Автором самостійно сформульовані наукове завдання, мета та ідея роботи, задачі досліджень; виконаний аналіз з тематики роботи, обрані методи досліджень, розроблені або вдосконалені математичні моделі, програми лабораторних і шахтних досліджень. Автор брав безпосередню участь в лабораторних і шахтних дослідженнях, в розробці технічних рішень і впровадженні результатів у виробництво. Ним самостійно сформульовані наукові положення, висновки і рекомендації.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення, результати і зміст роботи докладалися на: Міжнародній науково-технічній конференції «Форум гірників» (Дніпропетровськ, НГУ, 2005), Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Перспективи освоєння підземного простору» (Дніпропетровськ, НГУ, 2007); Конференції молодих учених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (Дніпропетровськ, ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2009), Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи освоєння підземного пространства» (Дніпропетровськ, НГУ, 2007), IV міжнародній науковій конференції «Роль молоді щодо розвитку геотехнологій та управління виробництвом (Донецьк, ДонНТУ, 2009), Міжнародному науковому симпозиумі «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2010).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладені в 7 наукових працях, зокрема в 1 монографії, 3 статтях, опублікованих у фахових наукових виданнях, 3 статтях, опублікованих у збірниках конференцій та нормативному документі.

**Структура і об'єм роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел з 118 найменувань на 10 сторінках і 5 додатків на 14 сторінках. Містить 124 сторінки машинописного тексту, зокрема 35 малюнків і 19 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 183 сторінки.

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

Вирішенню задач забезпечення стійкості виробок присвячені роботи

багатьох учених і колективів провідних вузів і науково-дослідних організацій. В Україні найбільший внесок до її рішення внесли роботи Бабіюка Г.В., Бондаренка В.І., Бузила В.І., Виноградова В.В., Дружка Є.Б., Друцка В.П., Заславського Ю.З., Зборщика М.П., Касьяна М.М., Коскова І.Г., Кошелева К.В., Литвинського Г.Г., Максимова О.П., Назимка В.В., Новикової Л.В., Парчевського Л.Я., Роєнка А.М., Усаченка Б.М., Халимендика Ю.М., Шашенка О.М. і багатьох інших.

**Перший розділ** роботи присвячений аналізу раніше виконаних досліджень з питань попередження вивалоутворень при будівництві і підтримці гірничих виробок і подолання їх негативних наслідків. Як чинники, що впливають на процес деформування, в роботах дослідників виділені: форма поперечного перетину виробки, міцність і будова вміщуючих порід, взаємовплив виробок. В останньому випадку розвиток інтенсивних тріщиноутворень (деформацій) спрямований у бік паралельної виробки. Узагальнююча форма вивала – склепінчата, незалежно від впливаючих чинників. Цей аналіз дає тільки загальну характеристику процесу вивалоутворень, що затруднює практичне використання їх результатів. Проте підкреслюється деформуєча дія вивалу на конструкцію кріплення, що свідчить на користь врахування цієї дії при виборі її несучої здатності.

Такий підхід до рішення питання призводить до порушення експлуатаційного стану гірничої виробки при навантаженнях на кріплення вище, ніж її технічна несуча здатність, отже, існує розбіжність між технічною і фактичною несучою здатністю конструкції кріплення при її зведенні у виробці.

При цьому немає єдності в оцінці стану породи в межах вивалоутворення: в рівній мірі враховується в загальному вигляді її стан як розпушеної ( $\gamma_p$ ), так і непорушеної ( $\gamma$ ).

За даними обстежень виробок можна зробити висновок, що при ступені деформації виробки до 20 % вивалоутворення маловірогідно, при ступені деформації 20...30 % вивалоутворення ймовірно, а при ступені деформації більше 30 % вірогідність вивалоутворень висока. Оскільки ступінь деформації виробки характеризується зміщеннями породних оголень, то цей показник може бути прийнятий як критерій можливості вивалоутворення. Встановлення його чисельних значень залежно від характеристики породного масиву і виробки (їх системи) являє науковий і практичний інтерес.

За результатами виконаного аналізу стану питання поставлена мета дослідження, сформульовані основні задачі досліджень та обрані методи досліджень.

**Другий розділ** присвячений питанням класифікації вивалоутворень, лабораторним та теоретичним дослідженням процесів деформування масиву навколо виробок, що обумовлюють вивали порід.

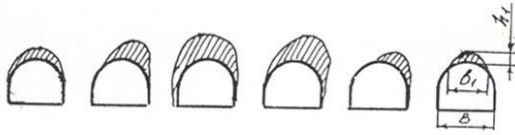
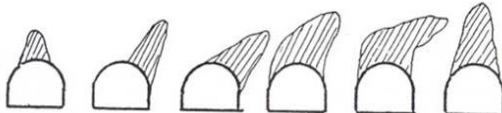
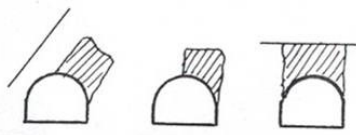
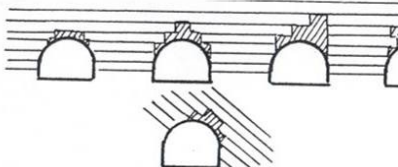
В основу досліджень покладені результати інструментальних спостережень за розвитком навантажень на кріплення виробок і дані, отримані під час проведення ремонту у цих виробках. Відповідно до запропонованої проф. К.В. Кошелевим класифікації складена загальна таблиця механічних



характеристик породних масивів і параметрів вивалів (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація вивалоутворень за формою та основними параметрами

Характеристика породного масиву	Форми вивалів, що спостерігалися в даних умовах (кількість випадків)	Р <sub>0</sub> зміри вивалоутворення	Навантаження на кріплення від вивалу	
			п итоме, кН/м <sup>2</sup>	3 агальна маса, т
Однородні і не порушені ( $\sigma_{сж} \geq 80$ МПа)	Склепінчата (26) 	$r_1 = 1,1 \dots 7,2$ м $h_1 = 0,5 \dots 1,5$ м	1 2...30	4 ,0...8,0
Обводнені різної характеристики; міцні тріщинуваті ( $\sigma_{сж} = 80-120$ МПа)	Конусна (34) 	$r_1 = 1,2 \dots 6,0$ м $h_1 = 1,2 \dots 9,0$ м	1 0...120	4 ,0...50
Різної характеристики під шаром міцних порід; тріщинуваті, шаруваті, з товщиною шару до 0,5 м	Призматична (30) 	$r_1 = 1,2 \dots 6,0$ м $h_1 = 1,2 \dots 8,0$ м	1 4...140	4 ,0...60
Шаруваті, з товщиною шару 0,5 м та більше (до 1,5 м)	Ступінчата (14) 	$r_1 = 1,0 \dots 6,5$ м $h_1 = 0,5 \dots 6,5$ м	1 2...50	1 ,0...12

Аналіз конфігурації і стану утворених породних оголень (ділянки виробки, відновлювані в результаті завалів) дозволяє відзначити їх залежність від характеристик породного масиву, технічних параметрів виробок, у тому числі і напряму відносно нашарування, характеру і якості ведення гірничих робіт.

За довжиною виробки розмір вивалоутворень змінюється від 2 до 25 м. Найчастіше (до 80 % вивалів) ця величина характеризується розмірами 2...10 м.

Дослідження вигляду і параметрів вивалів, що відбулися на шахтах об'єднань «Дзержинськвугілля» і «Артемвугілля», свідчать про те, що їх причиною є відділення від масиву і дія на кріплення значного об'єму зруйнованих порід, утвореного під впливом напружено-деформованого стану, що сформувався внаслідок проведення виробки. При цьому обрані засоби кріплення і охорони виробок часто не враховують реального механізму деформації і руйнування порід.

Тому дослідження процесу деформації і руйнування масиву гірських порід навколо підготовчих виробок є важливою задачею, вирішення якої дозволить визначити причини виникнення тяжких проявів гірського тиску, зокрема вивалоутворення.

Математичне моделювання, як один з основних методів досліджень, припускає схематизацію реального складного процесу деформації породного масиву, в основу якої покладено виділення і описання основних параметрів, що визначають процес вивалоутворення в покрівлі і боках виробки.

Основні припущення, прийняті в процесі побудови математичної моделі:

- масив гірських порід, що вміщує протяжну виробку, моделюється пружним ізотропним напівпростором, напружений стан якого обумовлений силою тяжіння;
- виробка розташована на великій глибині, тому можна нехтувати впливом денної поверхні в задачі, пов'язаній з визначенням компонент додаткових напружень, що з'являються в результаті проведення виробки в породному масиві.

З огляду на те, що виробка має велику протяжність, процес дослідження НДС породного масиву навколо виробки спрощується і може бути здійснений в рамках плоскої задачі механіки пружно деформованого твердого тіла.

Схематично породний масив, що вміщує протяжну виробку, зображатимемо у вигляді пластини з отвором у формі півкола радіусу  $a$  (рис. 1). Слід підкреслити, що теоретичні дослідження процесу деформації з метою прогнозу і попередження вивалоутворення повинні бути спрямовані на з'ясування механізму виникнення розтягуючих деформацій і напружень в покрівлі і боках виробки.

Рис. 1. Розрахункова схема до рішення задачі про напружено-деформований стан породного масиву навколо виробки

Оскільки в результаті натурних вимірювань, проведених в умовах шахт Донецького вугільного басейну, встановлено, що в реальних умовах породного масиву має місце нерівнокомпонентне поле початкових напружень, то напружений стан неторканого масиву характеризуватимемо співвідношеннями:

$$\sigma_{yy}^{(0)} = -\gamma(H - y); \quad \sigma_{xx}^{(0)} = -\lambda\gamma(H - y); \quad \tau_{xy}^{(0)} = -\gamma(H - y)\frac{(1 - \lambda)}{2}. \quad (1)$$

де  $\sigma_{yy}^{(0)}$ ,  $\sigma_{xx}^{(0)}$  – нормальні, а  $\tau_{xy}^{(0)}$  – тангенціальні початкові напруження;  $\lambda$  – коефіцієнт бічного розпору;  $\gamma = \rho g$ ;  $\gamma$  – щільність порід,  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H$  – відстань від земної поверхні до підшови виробки;

В процесі досліджень використовується полярна система координат  $(r, \theta)$ , в якій початкове поле напружень характеризується співвідношеннями:

$$\sigma_{rr}^{(0)} = -\gamma \frac{(H - \bar{r} \sin \theta)}{2} [1 + \lambda + (1 - \lambda)(\cos 2\theta + \sin 2\theta / 2)];$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(0)} = -\gamma \frac{(H - \bar{r} \sin \theta)}{2} [1 + \lambda + (1 - \lambda)(\cos 2\theta - \sin 2\theta / 2)]; \quad (2)$$

$$\tau_{r\theta}^{(0)} = -\gamma \frac{(H - \bar{r} \sin \theta)}{2} (1 - \lambda)(\cos 2\theta + \sin 2\theta).$$

де  $\sigma_{rr}^{(0)}$  і  $\sigma_{\theta\theta}^{(0)}$  – відповідно радіальні та нормальні, а  $\tau_{r\theta}^{(0)}$  – тангенціальні початкові напруження.



Рис. 2. Залежність радіальних напружень

$$\sigma_{rr}^* = \sigma_{rr}^{\pm} / \gamma H \text{ в покрівлі та боках виробки від кута } \theta \text{ та відносного радіусу } \bar{r} = \bar{r} / a \text{ при } \nu = 0,18$$

В результаті теоретичних досліджень отримані в замкнутому вигляді розрахункові залежності для компонент поля напружень і деформацій в приконтурній зоні виробки і розроблена комп'ютерна програма для їх

реалізації, за допомогою якої проведені чисельні дослідження з встановлення основних закономірностей формування поля напружень в покрівлі і боках виробки в нерівнокомпонентному полі напружень.

Результати

деяких  
розрахунків  
наведені на рис. 2  
і 3.



Рис. 3. Залежність радіальних напружень  $\sigma_{rr}^*$ , від радіусу  $r$  та коефіцієнту поперечних деформацій при  $\theta = \pi/3$  та  $\theta =$

$$\pi/2 \quad (1 - \theta = \pi/3; 2 - \theta = \pi/2)$$

Слід зазначити, що дослідження НДС області масиву навколо виробки проводиться на той час, коли процес розшарування приконтурних порід ще не почався, але вже обумовлений сформованим полем напружень. На цій стадії процес деформації породного масиву може бути описаний методами теорії пружності. Однак, даний метод досліджень не дозволяє встановити зону руйнування навколо виробки, яка характеризує вивал.

Для встановлення рівня напруженого стану масиву, який визначає формування зони зруйнованих порід, були виконані лабораторні дослідження на породних зразках. Для експериментів були виготовлені зразки порід розміром  $12 \times 6 \times 30$  см з пісковика з коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протод'яконова  $f = 7 \dots 8$  і піскуватого сланцю з  $f = 5$ .

Моделювання проводилося на стенді (рис. 4), що складається з обойми 1 (швелер № 12). Зразок породи 3 спирався на виступи шириною 4 см і навантажувався пневмобалонами 4, сполученими з компресором, який розвивав тиск до 0,25 МПа.

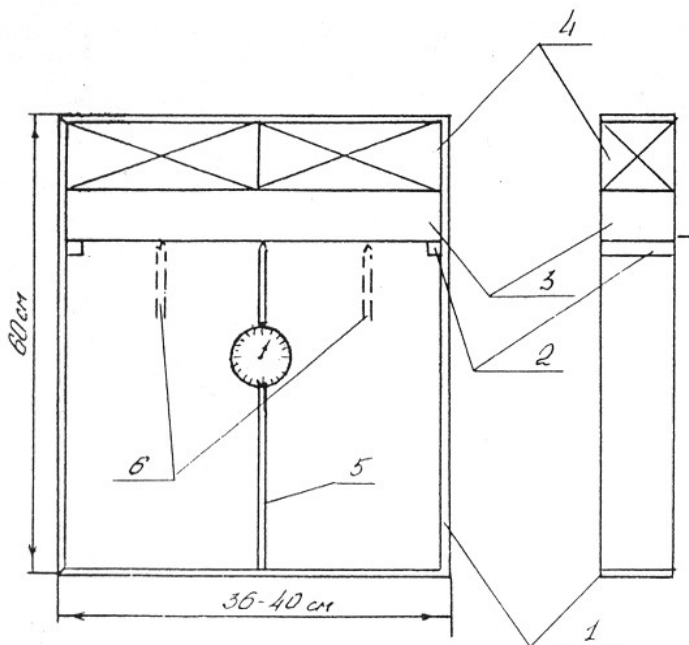
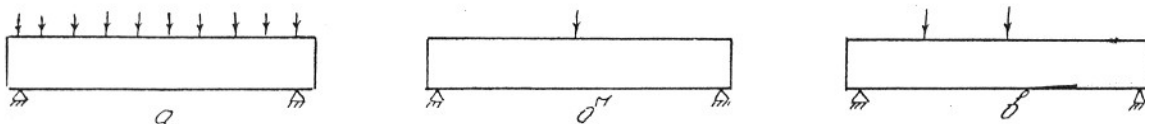


Рис. 4. Загальний вигляд лабораторного стенду

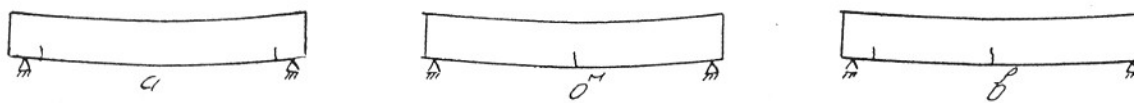
Виміри прогину зразка проводилися індикатором 5, місце установки якого 6 визначалося характером навантаження. Точкове навантаження імітувалося вкладишем, розташованим між зразком породи і балоном з технічної гуми. Було випробувано 7 зразків (3 з піскуватого

сланцю), зокрема 4 зразки за схемою «а», 1 зразок за схемою «б» і 2 зразки за схемою «в» (рис. 5). Масштаб моделювання 1:20 відповідав ширині виробки в реальних умовах 4,4...5,0 м, товщина шару породи 1...1,25 м. Контроль за появою та розвитком тріщин виконувався візуально та кинозйомкою.

#### Схема навантаження породного зразка



#### Характер руйнування зразка



#### Послідовність руйнування зразка за схемою а

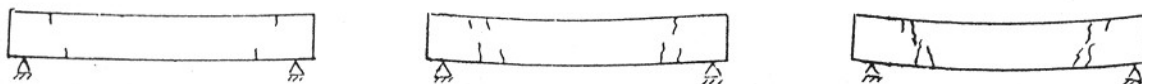


Рис. 5. Схеми навантаження та результати лабораторних випробувань

В ході навантаження за допомогою індикатора фіксувалася величина прогину породного зразка  $f$  та тиск у пневмобалоні  $P$ , коли відбувалася поява тріщин. Величина напружень розраховувалася за відомою залежністю величини модуля Юнга при випробуваннях породних зразків на вигин:

$$\sigma = \frac{\varepsilon Pl^3}{48If}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

де  $I$  – момент інерції поперечного перерізу зразка,  $\varepsilon$  – подовжня деформація.

Отримані результати дозволили визначити рівень напружень, що характеризують початок тріщиноутворення.

Крім того, встановлено, що початок тріщиноутворення при рівномірному навантаженні спостерігається на прогинах зразків породи на 15...20 % більших, ніж при зосередженій (точковій) передачі навантаження.

Отримані за результатами лабораторних досліджень значення граничних напружень, що призводять до тріщиноутворення дозволили обмежити область масиву навколо виробки, де, під впливом розтягуючих напружень, відбувається руйнування масиву і формується вивал. Ця область формується розтягуючим радіальним напруженням, що досягає величини  $0,35 \gamma H$  і стискаючим нормальним напруженням величиною  $1,6 \gamma H$  і досягає глибини від контура виробки  $(0,4...0,6) r_L$  ( $r_L$  - відносний радіус зони непружних деформацій).

Збільшення несучої здатності кріплення створює умови для всебічного стиску порід і призводить до зниження величини тангенціальних напружень. Другим напрямком протидії формуванню вивалу може бути зміцнення приконтурних порід шляхом створення зони стиснення в покрівлі виробки за допомогою анкерного кріплення.

**У третьому розділі** розглядаються результати експериментальних досліджень процесів вивалоутворень і наведено обґрунтування критеріальних оцінок їх параметрів.

Формування вивалоутворень і розвиток їх пов'язано з геомеханічними процесами, що відбуваються в масиві при відновленні рівноважного стану, порушеного веденням гірничих робіт.

Основне значення мають зміщення порід, які характеризують процес тріщиноутворення, а також послідовність і величину деформацій породного контура і постійного кріплення виробки. На підставі викладеного і раніше наведених результатів досліджень як критеріальні оцінки можливого вивалоутворення прийняті:

- абсолютні зміщення породних оголень (контура) виробки, які найповніше відповідають процесу формування вивалу;
- ступінь і характер деформації кріплення, що визначають можливість вивалоутворення та його спрямованість.

Дослідження процесу формування вивалу виконані в шахтних умовах (інструментальні спостереження).

Інструментальні дослідження проводилися у виробках, закріплених металевим податливим кріпленням. Замірні станції склалися з трьох пунктів, обладнувалися глибинними і контурними реперами, насічкою на елементах постійного кріплення і свердловинами для приладу РВП-4.

Глибинні репери закладалися на відстані від породного контура в масив до 3 м, через 0,5 м. Устя свердловини обладнувалося обсадними трубами. Зміщення порід в глибині масиву фіксувалися за допомогою струн, прикріплених до закріплюючих анкерів на відповідній глибині від контуру виробки. За «базову» брався найбільш віддалений репер. Зміна положень насічок і контурних реперів проводилася маркшейдерською рулеткою ВНДМІ методом парних реперів і трикутника.

Відповідним чином було обладнано дві комплексні замірні станції, шість станцій обладнувалися контурними реперами, свердловинами і насічками на кріпленні, чотири – контурними реперами і насічками. Умови закладення замірних станцій достатньо повно характеризують гірничо-геологічні і гірничотехнічні умови інтенсивного ведення гірничих робіт. Спостереження мали періодичність: перший місяць – один раз на тиждень, далі – від 1 разу на місяць до 1 разу на квартал.

На рис. 6 наведені результати інструментальних вимірів, що характеризують процес розвитку вивалоутворень.



Рис. 6. Зміщення породного контуру, що характеризують послідовність геомеханічних процесів в масиві: 1 – польовий штрек гор. 710 м, ш. «Торецька»; 2 – польовий штрек гор. 960 м, ш. «Комсомолець»; 3 – штрек гор. 530 м, ш. «Новодзержинська»; 4 – штрек гор. 502 м, ш. «Новодзержинська»; 5 – відкотний штрек пласта  $l_5$  гор. 810 м, ш. «Торецька»

Аналіз та узагальнення даних шахтних інструментальних досліджень, виконаних особисто автором та іншими вченими, дозволив встановити залежність максимальних зміщень контура виробки, що призводять до вивалу, від міцності вміщуючих порід (рис. 7).





Рис. 7. Максимальні зміщення контура виробки, що призводять до вивалу: 1 – однорідні породи, 2 – шаруваті породи

Результати виконаних досліджень показали, що в шаруватих породах інтенсивність геомеханічних процесів, що призводять до вивалоутворення, на 47 % вище, ніж в однорідних. Незалежно від будови масиву, міцнісна характеристика порід безпосередньо впливає на

критичні зміщення в межах 12...53 %. У більш міцних породах критичні зміщення менше.

В рамках поставлених задач, була виконана оцінка ступеня деформацій постійного податливого металевого кріплення. На рис. 8 наведені передремонтні деформації кріплення, ремонт яких виконувався з випуском породи в межах 9...27 м<sup>3</sup>/м. Ступінь деформації кріплення виробок склала 20...40 %.

Головними причинами деформацій кріплення (тобто невідповідності фактичної та технічної несучих здатностей) є нещільне, або відсутність заповнення закріпного простору та невідповідність породного контура в проходці проектному за рахунок неякісного оформлення породних оголень.

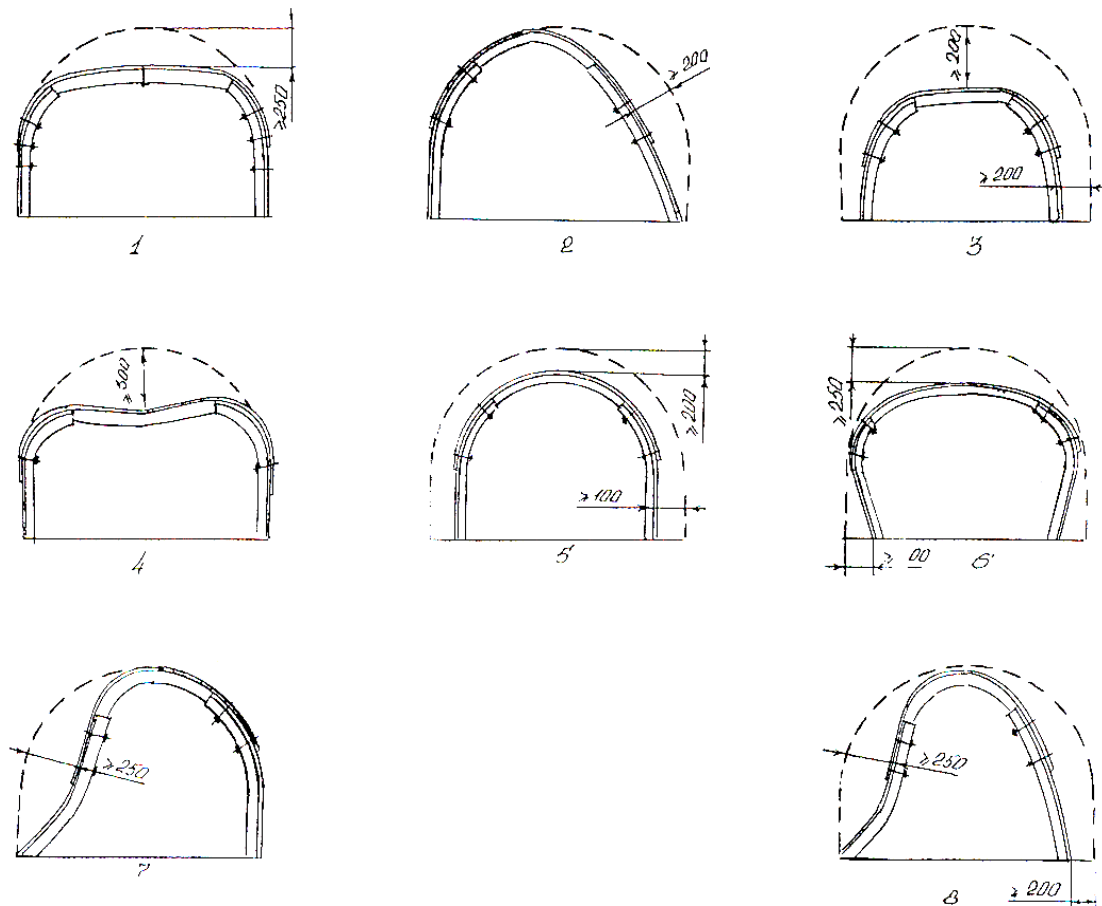


Рис. 8. Характер деформації податливого кріплення, що передує вивалу (ремонт з випуском породи): 1 – спрямлення верхняку; 2 – спрямлення бокового елемента, вигин верхняку; 3 – змещення бокових елементів, спрямлення верхняку; 4 – вигин верхняку; 5 – зміщення кріплення по периметру; 6 – зближення бокових елементів, спрямлення верхняку; 7 – вигин верхняку та бокового елемента; 8 – вигин бокового елемента

Це призводить до розвитку точкових навантажень на елементи кріплення та їх інтенсивному деформуванню і зниженню несучої здатності кріплення в цілому. При комбайновій проходці фактичні розміри виробки близьки до проектних розмірів з відхиленням до 5 %, при буровибуховій проходці – до 20 %.

В зв'язку з цим фактична несуча здатність ( $q_{\phi}$ ) повинна оцінюватися за залежністю:

$$q_{\phi} = K_p q_m, \quad (3)$$

де  $K_p$  - коефіцієнт працездатності кріплення, що характеризує зниження

технічної несучої здатності за рахунок зміни умов роботи кріплення.

Значення  $K_p$  рекомендується приймати за даними табл. 2, котрі є результатом аналізу стану 160 виробок залежно від якості прохідницьких робіт.

Таблиця 2

Коефіцієнт працездатності кріплення

№	Будова масиву, міцність порід	Відхилення від проектних розмірів, %	$K_p$
Комбайнова проходка			
1	однорідні породи, $f=4-6$	до 5	1,0
2	однорідні породи, $f<4$	до 5...8	0,9
3	шаруваті породи	5...10	0,8
Проходка за допомогою буровибухових робіт			
4	однорідні породи, $f>6$	5...10	0,8
5	однорідні породи, $f\leq 6$	10...15	0,7
6	шаруваті породи	15...20	0,6
7	тріщинуваті породи	более 20	0,2

**Четвертий розділ** присвячений розробці методичних основ прогнозу часу і величини вивалоутворень в конкретних умовах розташування виробки.

Параметри і факт реалізації вивалу визначаються сукупністю факторів, які можуть бути розподілені на групи і підгрупи.

Ступінь впливу факторів на розвиток процесу різний. Як основні в роботі прийняті: глибина розташування виробки; будова масиву і міцність порід, що складають його; форма поперечного перетину і розмір виробки; термін служби виробки і ступінь вологості порід, що знижують їх міцність в часі; напрям виробки відносно нашарування; вага порід і характер її зміни в процесі формування вивалу, тобто, перехід в розпушений стан; форма вивалу і його напрям відносно перетину виробки.

Вказані параметри враховані при розробці методичних положень за оцінкою навантаження від вивалу. Запропонована залежність має вигляд:

$$P_g = \delta B \gamma_p \left( \frac{\gamma H}{m \sigma_{сж} f_c} - \epsilon \right) K_\phi K_H K_{II} K_g,$$

де  $\delta$  – коефіцієнт форми покрівлі виробки;  $\gamma_p$  – об'ємна маса розпушених порід;  $B$  – ширина виробки вчорні, м;  $\epsilon$  – коефіцієнт напрямку виробки відносно нашарування;  $m$  – коефіцієнт стійкості, що характеризує зниження міцності порід у часі;  $f_c$  – коефіцієнт стану породного масиву;  $K_\phi$  – коефіцієнт форми вивалоутворення;  $K_H$  – коефіцієнт напрямку вивалоутворення;  $K_{II}$  – коефіцієнт стану порід підосви;  $K_g$  – коефіцієнт стану порід покрівлі.

В результаті рішення поставленої задачі отримані емпіричні залежності:

– для прогнозу питомого навантаження на постійне кріплення і висоти випуску породи при ремонті з урахуванням вищенаведених впливаючих чинників;

– для оцінки вірогідного часу вивалоутворення і доцільного часу проведення попереджувальних заходів;

– для оцінки протяжності прилеглих ділянок виробки до того, що ремонтується, де необхідне виконання заходів, попереджаючих розвиток вивалоутворень (повторних вивалів).

**У п'ятому розділі** розглядаються рекомендації з попередження вивалоутворень при будівництві і підтримці гірничих виробок та результати впровадження розробок в умовах шахт Донбасу.

Для забезпечення стійкості гірничих виробок в умовах вивалоутворення порід покрівлі розглядаються наступні заходи.

**1.** Вибір постійного кріплення з урахуванням питомого навантаження від вивалу.

Як показали попередні розрахунки, виконані за запропонованою методикою (ф. 5), несуча здатність кріплення може бути підвищена лише на 15 %, що лише в окремих випадках дозволить попередити вивалоутворення. Тому, необхідним є застосування комплексу заходів, спрямованих на попередження руйнування порід в приконтурному масиві, величини здимання порід підосви

та зниження ступеня деформації кріплення.

За такі заходи пропонуються наступні.

2. Набризкбетонне тимчасове кріплення – для зниження деформацій приконтурного масиву порід після проведення виробки до моменту зведення постійного кріплення.

Спосіб пройшов перевірку на шахті «Комсомольська» ДП «Антрацит». Параметри способу: товщина кріплення – 5 см, склад суміши – Ц:П = 1:1... 1:3, розмір частинок піску – до 3 мм, прискорювач тужавлення – фтористий натрій – 4%.

3. Вибухощільне розвантаження для зниження здимання порід підшви.

Спосіб пройшов перевірку на шахті «Комсомольська» ДП «Антрацит». Параметри способу: довжина шпурів – 2,5...3,0 м; відстань між шпурами – 0,5...0,8 м; маса заряду в шпурі (амоніт Т-19)  $q_{шп} = 0,6$  кг при  $S_{св} = 8,5...10,5$  м<sup>2</sup>,  $q_{шп} = 0,9$  кг при  $S_{св} = 13$  м<sup>2</sup>; кут нахилу шпурів до горизонтальної площини – 30°.

4. Укріплення приконтурного масиву цементно-піщаним розчином.

Спосіб пройшов перевірку на шахтах «Торецька» та «Дзержинська» ДП «Дзержинськвугілля». Параметри способу: склад суміши – Ц:П = 1:1...1:2, ширина розкриття тріщин приконтурного масиву – до 2 мм, глибина закріплення порід – 1,5 м.

5. Зниження радіального тріщиноутворення при веденні вибухових робіт.

Параметри способу: контурне підривання, ретельне обирання породних оголень після вибуху.

Рекомендації впроваджуються на 7 шахтах ДП «Дзержинськвугілля» і ДП «Артемвугілля» з очікуваним економічним ефектом 45 000 грн/рік.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей формування напружено-деформованого стану масиву порід навколо протяжних виробок вирішена актуальна науково-технічна задача забезпечення стійкості виробок в умовах вивалоутворення порід покрівлі, що має важливе значення для підвищення ефективності і безпеки

гірничих робіт в умовах глибоких вугільних шахт.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному.

1. На підставі аналізу виробничої діяльності шахт ДП «Дзержинськвугілля», ДП «Артемвугілля», ДП «Антрацит» визначені мета дослідження, сформульовані основні задачі досліджень та обрані методи досліджень. Аналіз стану протяжних виробок показує, що причиною їх незадовільного стану є численні випадки вивалоутворення, як наслідок невідповідності параметрів кріплення та охорони.

2. Встановлено, що область зруйнованих порід навколо виробки формується розтягуючим радіальним напруженням, що досягає величини  $0,35 \gamma H$  і стискаючим нормальним напруженням величиною  $1,6 \gamma H$  і досягає глибини від контура виробки  $(0,4 \dots 0,6) r_L$  ( $r_L$  - відносний радіус зони непружних деформацій).

3. Встановлені граничні значення деформацій кріплення, що передують його руйнуванню та величини коефіцієнту працездатності кріплення, що дозволяє визначити фактичну несучу здатність кріплення з урахуванням структури порід та способу проведення виробки.

4. Встановлені величини критичних значень зміщень контура виробки, формуючих вивал, що нелінійно залежить від міцності порід, при цьому абсолютна їх величина на 15-20 % нижче для порід шаруватих, що дозволяє оцінити величину навантаження на кріплення виробки.

5. Встановлено, що в однорідних породах міцністю на стиск більше 80 МПа вивалоутворень не спостерігається, а випуск породи при ремонті постійного податливого кріплення відбувається при міцності порід до 70 МПа. У тріщинуватих породах (зокрема в зонах геологічних порушень) вивалоутворення (випуск породи) неминуче, безпосередньо перед вивалом спостерігається інтенсифікація деформаційних процесів у виробці.

6. Виконана класифікація та характеристика вивалів за формою, напрямом відносно поперечного перетину виробки, гранулометричному складу порід, стану знов утворених породних оголень. Встановлено, що склепінчатий

вивал незалежно від його напрямку та пологий вивал незалежно від його форми деформацій кріплення горизонтальних виробок (завалів) не викликають.

7. Досліджений вплив здимання порід підосви виробки на процес формування вивалу (висоту випуску порід при ремонті) і дана якісна оцінка цього впливу. Встановлено, що здимання порід підосви збільшує питоме навантаження від вивалу на постійне кріплення виробки до 60 %, висоту випуску породи до 25 % і знижує фактичну несучу здатність постійного кріплення у відношенні до технічної (паспортної) на 20...80 %.

8. Запропонована методика визначення величини і часу вивалоутворення, оцінки протяжності прилеглих ділянок виробки до ремонтovanого та доцільного часу і місця проведення попереджувальних заходів.

9. Основними напрямками в попередженні вивалоутворень є вибір постійного кріплення з урахуванням питомого навантаження від вивалу, що може попередити завали виробок, а також застосування комплексу заходів, спрямованих на попередження руйнування порід в приконтурному масиві, зниження величини здимання порід підосви та ступеня деформації кріплення.

10. На основі виконаних досліджень розроблені та затверджені рекомендації з підвищення стійкості протяжних виробок глибоких вугільних шахт, які впроваджуються на шахтах ДП «Артемвугілля» і ДП «Дзержинськвугілля». Очікуваний економічний ефект від впровадження комплексу заходів з попередження вивалоутворень складе 45 тис. грн на рік.

#### **Список опублікованих праць здобувача за темою дисертації:**

1. Перепелица Б.А. Системно-экономические аспекты экологизации производства и управления предприятием / Гребенкин С.С., Костенко В.К., Матлак Е.С. и др. Под общ. ред. С.С. Гребенкина. – Донецк: ВИК, 2010. – 401 с.
2. Перепелица Б.А. Экспериментальные исследования процессов вивалообразования / Гребенкин С.С., Рябичев В.Д., Перепелица Б.А. // Геотехнічна механіка. – Ін-т геотехнічної механіки НАН України, Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 85. – С.33-38.
3. Перепелица Б.А. Шахтные исследования вивалообразования и оценка их параметров / Рябичев В.Д., Перепелица Б.А. // Науковий вісник

Національного гірничого університету. – 2009. – № 10. – С. 12-15.

4. Перепелица Б.А. Аналитические исследования геомеханических параметров подготовительных выработок и обоснование способа повышения их устойчивости в условиях вывалообразований / Перепелица Б.А., Павлыш В.Н. // Известия Донецкого горного инситута. – 2010. – № 1. – С. 131-138.
5. Перепелица Б.А. К вопросу об устойчивости выработок в условиях вывалообразования / Перепелица Б.А. // Материалы междунар. конф. «Перспективы освоения подземного пространства». – Д.: РИК НГУ, 2007. – С. 34-37.
6. Перепелица Б.А., Старченко Н.С. Технические решения по повышению устойчивости выработок в условиях вывалообразований / Перепелица Б.А., Старченко Н.С. // Роль молоді щодо розвитку геотехнологій та управління виробництвом. IV Міжнар. наук. конф. 16 квітня 2009 р. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вып. 10-11. – С. 16-20.
7. Рябичев В.Д., Перепелица Б.А. Исследование процессов вывалообразований в шахтных условиях и критериальные оценки их параметров // Современные проблемы шахтного и подземного строительства. – Донецьк: Норд-Пресс, 2009. – Вып. 10-11. – С. 325-340.

**Особистий внесок автора** в работах, опублікованих в співавторстві: [1]

– аналіз стану проблеми стійкості протяжних виробок, формулювання наукової задачі; [2, 3, 7] – шахтні дослідження стійкості виробок в умовах вивалоутворення, аналіз даних та класифікація вивалів; [4] – аналітичні дослідження, обробка та аналіз результатів; [6] – впровадження результатів роботи в шахтних умовах, обробка та аналіз отриманих даних.

## АНОТАЦІЯ

Перепелица Б.О. Забезпечення стійкості гірничих виробок в умовах вивалоутворення порід покрівлі (на прикладі шахт ДП «Донбасантрацит»).

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.04 «Шахтне і підземне будівництво». Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

Робота присвячена рішенням актуальної науково-технічної задачі комплексного обґрунтування параметрів технологічних заходів щодо попередження вивалоутворень при будівництві та експлуатації підземних



гірничих виробок.

У роботі виконані теоретичні дослідження процесів і встановлені критеріальні оцінки абсолютних зміщень контура виробки і величини деформацій постійного кріплення, що визначають ступінь імовірності вивалоутворення в конкретних гірничо-геологічних і технічних умовах ведення гірничих робіт, у залежності від факторів, що впливають на характер процесу.

Встановлено, що імовірність вивалоутворення і його силова дія на постійне кріплення виробки визначають наступні параметри: глибина ведення гірничих робіт, їх якість, форма і розміри виробки і вивалу, його напрямок відносно перетину виробки; структура і міцність вміщуючих порід; деформаційний стан порід покрівлі та підшви виробки.

Запропоновані і перевірені в шахтних умовах способи, що попереджають розвиток вивалоутворень або визначають необхідність виконання ремонтних робіт з випуском породи: тимчасове набризкобетонне кріплення, локальне розвантаження порід підшви, зміцнення порід.

Ключові слова: деформація, вивалоутворення, гірничі виробки, кріплення, підтримка.

## АННОТАЦИЯ

Перепелица Б.А. Обеспечение устойчивости горных выработок в условиях вывалообразования пород кровли (на примере шахт ГП «Донбассантрацит»).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.04 «Шахтное и подземное строительство». Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010.

Работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи комплексного обоснования параметров технологических мероприятий по предупреждению вывалообразований при строительстве и поддержании подземных горных выработок.

В работе выполнены теоретические исследования процессов и

установлены критериальные оценки абсолютных смещений породных обнажений кровли выработки и величины деформаций постоянной крепи, определяющих степень вероятности вывалообразования в конкретных горно-геологических и технических условиях ведения горных работ в зависимости от влияющих факторов.

Установлено, что вероятность вывалообразования и его силовое воздействие на постоянную крепь выработки определяют следующие параметры: глубина ведения горных работ, их качество, форма и размеры выработки и вывала, его направление относительно сечения выработки; строение и прочность вмещающих пород; деформационное состояние породных обнажений кровли и почвы выработки.

Предложена методика определения величины и времени вывалообразования на участках выработок, прилегающих к ремонтируемому и целесообразного времени и места проведения предупредительных мероприятий.

Получены эмпирические зависимости: для прогноза удельной нагрузки на постоянную крепь и вероятной высоты выпуска породы при ремонте постоянной крепи с учетом влияющих факторов; для оценки вероятного времени вывалообразования и целесообразного времени проведения предупредительных мероприятий; для оценки протяженности прилегающих участков выработки к ремонтируемому, где необходимо выполнение мероприятий, предупреждающих развитие вывалообразований (повторных вывалов).

На основе выполненных исследований разработаны и утверждены рекомендации по повышению устойчивости протяженных выработок глубоких угольных шахт.

Предложенные способы, предупреждающие развитие вывалообразований или определяющие необходимость производства ремонтных работ с выпуском породы: временная набрызгбетонная крепь, локальная разгрузка пород почвы (ВЦР), укрепление пород проверены на шахтах ГП «Артемуголь» и ГП

«Дзержинскуголь».

Ключевые слова: деформация, вывалообразование, горная выработка, крепь, поддержание.

## **ABSTRACT**

Perepelitza V.A. Providing of stability of long workings making in the conditions of drop rock of roof (on the example of mines of GP «Donbassantracit»).

The thesis for scientific degree of Cand. Tech. Sci. on a speciality 05.15.04 – "Mine and underground construction». – National Mining University, Dnepropetrovsk. – 2010.

The thesis is devoted to the decision of an actual scientific problem of a complex substantiation of parametres of technological schemes under the prevention of throwing out in the course of construction and maintenance of underground long workings.

In the thesis theoretical researches of processes are executed and established criterion estimations of absolute displacement of rock exposures of a roof of development and degree of deformations of a constant support, defining probability degree of throwing out in concrete main-geological and specifications on conducting maining works, depending on influencing factors.

It is established that probability of throwing out and its power influence on a constant support developments define following parametres: depth of conducting main works, their quality, the form and the sizes of development and inrush, its direction concerning development section; a structure and durability of containing rocks; a deformation condition of rock exposures of a roof and development soil.

The ways warning development of throwing out or defining necessity of manufacture of repair work with release of breed are offered and checked up in mine conditions: time splash concrete support, local unloading of rocks of soil, strengthening of rocks.

Keywords: deformation, throwing out, mountain long working, support, maintenance.

