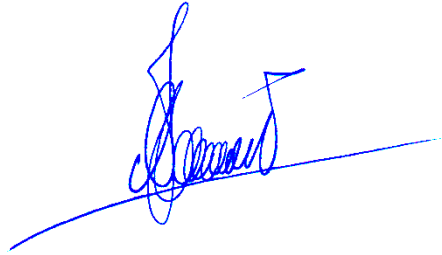


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«Національний гірничий університет»

НЕЧЕПОРЕНКО АНДРІЙ БОРИСОВИЧ

УДК 622.83:622.031



ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДЗЕМНОГО ВИДО-
БУВАННЯ ВУГІЛЛЯ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЗОНИ
РОЗВАНТАЖЕННЯ

Спеціальність 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2010
Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в орендному підприємстві «Шахта ім. О.Ф. Засядька»

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор, Народний депутат України, Верховна Рада України (м. Київ)

***Звягільський
Юхим
Леонідович***

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу проблем технології підземної розробки вугільних родовищ Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

***Софійський
Костянтин
Костянтинович***

кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу охорони надр та зрушень земної поверхні Українського Державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України (м. Донецьк)

***Назимко
Іван
Вікторович***

Захист відбудеться “21” січня 2011 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49027, Україна, м.Дніпропетровськ, просп. К.Маркса, 19)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49027, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса, 19).

Автореферат розісланий “21” грудня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 08.080.03,
кандидат технічних наук, доцент

В.І. Тимощук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зниження стійкості підземних виробок вугільних шахт стає більш гострою проблемою зі зростанням глибини розробки та викидонебезпечності пластів. Це суттєво уповільнює темпи вуглевидобутку на українських шахтах і впливає на безпеку ведення гірничих робіт. Однією з найбільш перспективних технологічних схем розробки викидонебезпечних пластів вугілля і підтримки підготовчих виробок на великих глибинах є використання регіональних зон розвантаження.

Параметри регіональних зон розвантаження з часом суттєво змінюються, при цьому ступінь самого розвантаження зменшується у процесі безціликового відпрацювання суміжних запасів. Підвищення глибини розробки збільшує прояви реологічних процесів, що протікають у породному масиві.

У зв'язку з цим, обґрунтування технологічних параметрів підземного видобування вугілля на основі встановлення закономірностей деформування породного масиву у регіональних зонах розвантаження при відпрацюванні викидонебезпечних вугільних пластів на великих глибинах є актуальною науковою задачею.

Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами і темами. Дисертація є складовою частиною досліджень, що виконувалась за напрямом наукових програм Міністерства освіти і науки України «Технології видобутку та переробки корисних копалин», відповідає темі НДР ДонТУ «Геомеханічні основи прогнозу динаміки обвалення та гірського тиску в оточенні очисних вибоїв, що рухаються» (№ держреєстрації 0104U0002395).

Метою досліджень є обґрунтування технологічних параметрів підземного видобування вугілля під захистом регіональної зони розвантаження зі змінними у часі характеристиками, що впливають на порядок відпрацювання запасів та місця розташування уклінних виробок.

Ідея роботи полягає в урахуванні фактору часу при оцінці напруженого стану породного масиву навколо комплексу підземних виробок в регіональній зоні розвантаження.

Об'єкт досліджень – фізичний процес деформування масиву гірських порід у межах регіональної зони розвантаження під впливом відпрацювання суміжних ярусних лав.

Предмет досліджень – параметри регіональної зони розвантаження, що змінюються у часі і визначають технологію видобування вугілля.

Основні задачі досліджень.

1. Обґрунтування геомеханічної моделі для оцінки напружено-деформованого стану породного масиву в процесі відпрацювання лав під впливом регіональної зони розвантаження.
2. Виконання натурних вимірів у гірничих виробках з метою встановлення реологічних особливостей деформування породного масиву.
3. Дослідження закономірностей утворення регіональної зони розвантаження.

4. Обґрунтування параметрів зони розвантаження, варіантів відпрацювання лав, розташування уклінних виробок і камер підйомного устаткування у межах регіональної зони розвантаження.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач використовувались наступні методи досліджень: аналітичне обґрунтування моделей поведінки гірського масиву у регіональній зоні розвантаження, інструментальні виміри деформацій порід навколо підземних виробок за допомогою контурних і глибинних реперів; метод скінчених елементів для дослідження напружено-деформованого стану гірських порід; методи математичної статистики для оцінки зв'язку між зміною гірського тиску та інтенсифікацією переміщень у масиві.

Наукові положення, що виносяться на захист.

1. Переміщення точок розвантаженого породного масиву в часі формується за експонентою з реологічним показником, який наближається до 0,8 і характеризує затухання деформацій в регіональній зоні розвантаження, що дозволяє оцінювати напруження шляхом моделювання положення проектних лав в пласті, який розробляється.

2. Розподіл величини коефіцієнта концентрації напружень нелінійно зменшується як праворуч, так і ліворуч від границі розвантажувальної лави, є асиметричним відносно до вертикальної вісі поперечного перерізу і стабілізується при довжині лави, яка дорівнює 275-325 м, що дозволяє встановлювати раціональну ширину зони розвантаження та визначати межі закладення уклінних виробок.

Наукова новизна результатів досліджень полягає у наступному.

1. На підставі натурних досліджень для умов Кальміуської ділянки ш. ім. А.Ф. Засядька доведено, що процеси повзучості гірських порід навколо підземних виробок описуються експоненціальним законом з параметром повзучості $b_1=0,8$.

2. Отримала подальший розвиток геомеханічна модель для розрахунку еквівалентних напружень у масиві порід в процесі розвитку очисних робіт з урахуванням процесів повзучості за допомогою логістичної функції.

3. Встановлена асиметрія зростання гірського тиску у регіональній зоні розвантаження під впливом активізації зрушень в результаті відпрацювання ярусних лав.

4. Уперше встановлена величина зростання гірського тиску у регіональній зоні розвантаження під впливом відпрацювання суміжних ярусних лав, що має експоненціальну залежність від часу і зменшується при збільшенні довжини розвантажувальної лави, стабілізуючись при її значенні у межах 275-325 м.

Обґрунтованість і достовірність основних наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлена коректною методикою натурних вимірів деформацій породного масиву; застосуванням сучасних методів механіки деформованого середовища для дослідження процесів розподілу напружень навколо регіональної зони розвантаження; достатнім ступенем статистичної надійності (90 %) результатів експериментальних досліджень, позитивною апробацією розробок в умовах діючої шахти.

Наукове значення роботи полягає у встановленні нових закономірностей асиметричного розподілу напружень у часі в регіональній зоні розвантаження під впливом активізації зрушень масиву гірських порід навколо очисних виробок, що кількісно визначається встановленим реологічним показником і довжиною розвантажувальної лави.

Практичне значення отриманих результатів полягає:

- в обґрунтуванні раціональних параметрів регіональної зони розвантаження, які забезпечують мінімізацію негативного впливу суміжних очисних робіт;
- у розробці комп'ютерної методики розрахунку напружено-деформованого стану, яка використовується для оцінки рішень з планування гірничих робіт у межах панелі чи горизонту;
- у досягнутому зниженні в 1,5-1,8 рази швидкості конвергенції на контурі підготовчих виробок, що підтримуються на великих глибинах у регіональній зоні розвантаження.

Реалізація практичних результатів досліджень. Результати досліджень використовуються при обґрунтуванні плану гірничих робіт, порядку відпрацювання суміжних запасів та розмірів розвантажувальних лав Кальміуської ділянки шахти ім. О.Ф. Засядька.

Особистий внесок автора. Автором сформульовані мета і задачі досліджень, ідея роботи, наукові положення, висновки і рекомендації, самостійно обрані методи теоретичних і шахтних досліджень, складена програма проведення натурних експериментів і комп'ютерного моделювання. Автор був безпосереднім виконавцем теоретичних і експериментальних робіт, розробником технічної документації з впровадження результатів досліджень у виробництво.

Апробація результатів досліджень проведена на XV міжнародній школі ім. акад. Христиановича “Деформування і руйнування матеріалів з дефектами та динамічні прояви у гірських породах та виробках (м. Алушта, 2005); на міжнародній конференції “Форум гірників” (м. Дніпропетровськ, 2005), на науково-практичному семінарі “Прогресивні технології будівництва, безпеки і реструктуризації гірничих підприємств” (м. Донецьк, 2005). Окремі положення дисертації доповідались на науково-технічних радах вугільних компаній “Донвугілля”, “Павлоградвугілля”, “Макіїввугілля”, а також на науково-технічних нарадах Мінвуглепрому України.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 9 наукових працях, з яких 7 статей у фахових виданнях та 2 у збірниках наукових конференцій.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і двох додатків. Вона викладена на 118 сторінках машинописного тексту, містить 42 рисунки, 11 таблиць, а також список використаних джерел із 133 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Аналіз різноманітних джерел інформації показує, що вугілля для енергетики і коксохімічної промисловості ще довгий час буде користуватись попитом як у світі, так і в Україні. Його запасів вистачить на 300-400 років.

Вітчизняна вугільна промисловість знаходиться у складному стані, що обумовлено геологічними особливостями і великою глибиною розташування вугільних пластів. Середньорічний рівень видобутку вугілля в Україні становить близько 70 млн. тон. Потреба ж економіки у вугіллі складає близько 120 млн. тон. Стратегія розвитку вугільної промисловості передбачає ліквідацію цього розриву протягом найближчих десяти років.

Ефективність роботи вугільних шахт, собівартість вугілля суттєво залежать від стану протяжних гірничих виробок, яких на вугільних шахтах України проходять близько 800 км на рік. Довжина перекріплених виробок складає біля 50 % від тих, що пройдені.

Особливо складним є процес забезпечення стійкості виробок для шахт, що відпрацьовують вугільні пласти на глибинах більших за 1000 м. Одним із способів забезпечення стійкості виробок є проведення їх у так званих регіональних зонах розвантаження. Цей же захід суттєво знижує ймовірність раптових викидів вугілля і газу. Параметри зони розвантаження, порядок відпрацювання запасів вугілля, місця розташування виробок, що розкривають і підготовлюють, – все це потребує наукового обґрунтування для конкретних гірничо-геологічних умов.

Результати досліджень конкретизовані щодо гірничо-технічних умов шахти ім. О.Ф. Засядька, на якій відпрацьовують викидонебезпечні пласти коксівного вугілля на глибинах, що перевищують 1000 м. Найбільш перспективною частиною шахтного поля є Кальміуська ділянка. Її запаси у пласті m^3 складають близько 35 млн. тон. Прийняте рішення відпрацювати його під захистом регіональної зони розвантаження, не залишаючи ціликів вугілля.

Значний внесок у вивчення закономірностей утворення регіональних зон розвантаження внесли такі вчені, як С.Г. Авершин, А.Г. Акімов, Ю.М. Басинський, Б.В. Бокій, О.О. Борисов, А.Ф. Булат, М.М. Грищенко, В.Т. Давидянц, М.П. Зборщик, Ю.Л. Звягільський, М.О. Іляшов, О.М. Кузьменко, О.М. Ліньков, В.В. Назімко, І.М. Петухов, К.К. Софійський та ін.

Сучасні уявлення про механізм зрушення масиву гірських порід у процесі розвитку очисних робіт найчастіше засновані на використанні моделей пружного розподілу напружень у гірському масиві і застосуванні принципу суперпозиції дії суміжних відпрацьованих лав. Вважається, що після відпрацювання одиночної лави на глибині, яка перевищує довжину лави у декілька разів, формується регіональна зона, яка розвантажує породний масив від гірського тиску і при цьому не змінюються її параметри у часі. При безціликовому видобуванні суміжних запасів і досягненні повної підробки земної поверхні регіональне розвантаження у середній частині суцільного відпрацьованого простору зникає внаслідок збільшення висоти повних зрушень товщі порід, що підроблена.

Останнім часом такі уявлення уточнені завдяки встановленню нових закономірностей незворотних зрушень масиву гірських порід, які пов'язані з їх руй-

нуванням і розпушенням. Встановлено, що у суцільному відпрацьованому просторі тиск обвалених порід розподілений нерівномірно і залежить від порядку відпрацювання суміжних запасів. Відомо також, що на характер проявів гірського тиску зі зростанням глибини збільшується вплив реологічних процесів у масиві гірських порід на їх напружено-деформований стан.

Отже, існуючі геомеханічні моделі, засновані на принципі суперпозиції, використовуються для прогнозу проявів гірського тиску навколо зон зрушень, сформованих відпрацюванням довгих очисних вибоїв, не враховують незворотні процеси. Слід констатувати, що на сьогодні немає надійних відомостей про ступінь впливу реологічних процесів у розподілі гірського тиску навколо виробленого простору, що утворюється довгими очисними виробками і безпосередньо в регіональній зоні розвантаження. Найбільш прийнятним підходом у дослідженні обраного об'єкту слід визнати побудову моделі, яка поєднує покрокове порівняння об'ємних напружень з їх критичними значеннями щодо руйнування порід та з часовою залежністю напружень і деформацій.

Часові параметри геомеханічної моделі, що імітує регіональну зону розвантаження, були отримані в результаті виконання натурних експериментів. Це дозволяє врахувати зміни напружено-деформованого стану всього породного масиву, як єдиної геомеханічної системи.

В процесі досліджень виміри реологічних параметрів породного масиву виконані безпосередньо у виробках Кальміуської ділянки для того, щоб в подальшому було можливим врахувати зміни напружено-деформованого стану породного масиву в геомеханічній моделі.

У якості основного методу досліджень використовується метод скінчених елементів (МСЕ). Задача вирішувалась у тривимірній постановці. Розміри моделі та її елементів наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Геометричні та фізико-механічні параметри геомеханічної моделі

Елементи моделі	Розмір елементів моделі	Одиниці виміру
Ширина – A	1250	м
Висота – B	250	м
Довжина – C	1250	м
Довжина лави – L	250	м
Потужність порід підосви – h_n	10	м
Потужність порід покрівлі:		
- аргіліт h_1	10	м
- пісковик h_2	15	м
- алевроліт h_3	25	м
Глибина розробки, H	1200	м
Середньозважена об'ємна вага:		
- порід	$2,2 \cdot 10^4$	Н/м ³
- вугілля	$1,3 \cdot 10^4$	Н/м ³
Модуль Юнга порід, E :		
- аргіліт	$2,4 \cdot 10^4$	МПа
- алевроліт	$3,4 \cdot 10^4$	МПа
- вугілля	$3,6 \cdot 10^3$	МПа
Коефіцієнт Пуассона порід, μ :		
- аргіліт	0,23	
- алевроліт	0,21	
- вугілля	0,16	

На рис. 1 наведений характер розподілу еквівалентних напружень в окремому виділеному плоскому перерізі моделі.

У процесі досліджень послідовно вирішувалась низка профільних задач, що імітують процес відпрацювання дільниці. При цьому граничні умови для кожної окремої задачі змінювались відповідно з часовими залежностями, що встановлені за натурними вимірами.

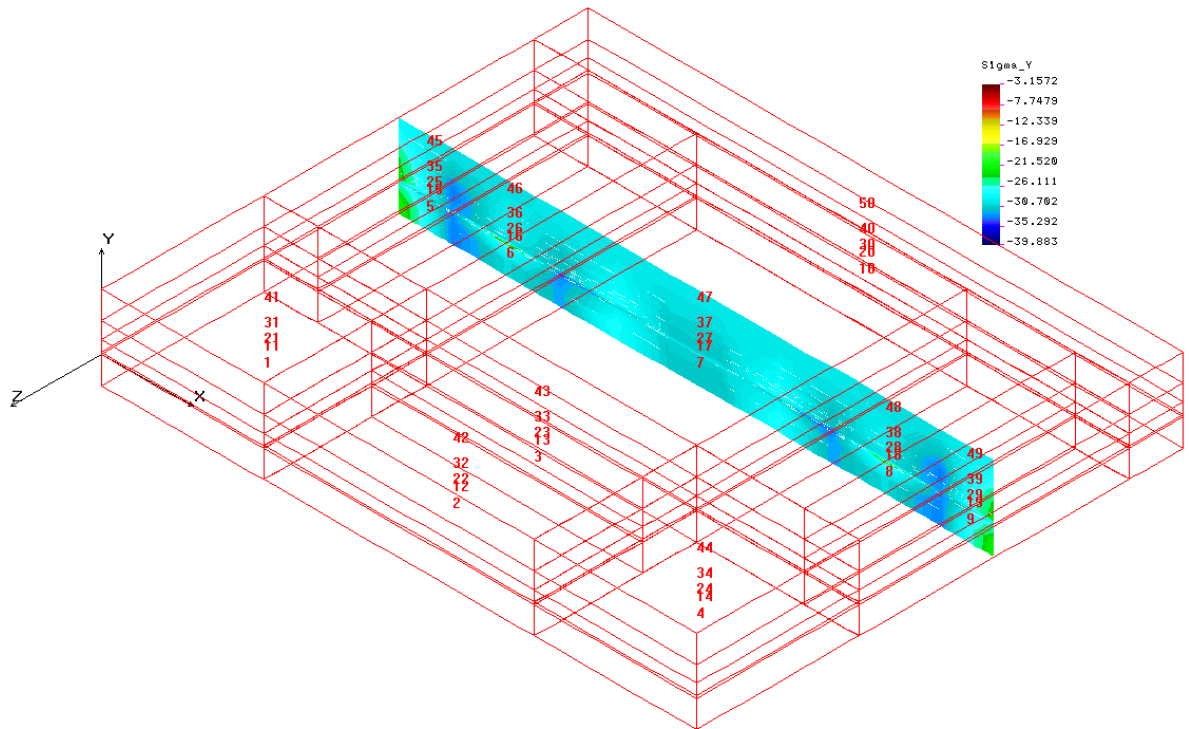


Рис. 1. Розподіл еквівалентних напружень σ_e у характерному перерізі моделі

У кожному скінченному елементі масиву визначались компоненти головних напружень $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ і деформацій, а потім вони приводились до еквівалентних за критерієм П.П. Баландіна.

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

де R_c - межа міцності на одноосьове стискання, k_c - коефіцієнт структурного ослаблення.

У процесі реологічних змін напруженого стану гірських порід еквівалентні напруження зменшуються з часом за експоненціальним законом

$$\sigma_{et} = a_1 \exp(-b_t). \quad (2)$$

Тут a_1 і b_t - коефіцієнти, що визначаються експериментально.

Інформативним параметром є рівень концентрації напружень в окремому елементі масиву, що визначається за формулою

$$k_{(x,y,z)} = \frac{R_c k_c}{a_1 \exp(-b_t)}. \quad (3)$$

Деформації у часі змінюються за зворотнім до (2) законом, тобто

$$U_t = a_2(1 - \exp(-b_t)), \quad (4)$$

де U_t – переміщення, що відповідають часу t ; a_2 і b_t – коефіцієнти, що визначаються експериментально.

Із формул (2) і (4) виходить, що еквівалентні напруження і переміщення будь-якої точки масиву пов'язані у часі залежністю

$$\frac{\sigma_{et}}{a_1} = 1 - \frac{U_t}{a_2}. \quad (5)$$

Реологічний коефіцієнт b_t визначається за формулою

$$b_t = -\frac{\ln\left(1 - \frac{U_t}{U_{t=t_k}}\right)}{t_k}. \quad (6)$$

Тут $U_{t=t_k}$ - переміщення, що вимірюються на кінець часу $t = t_k$.

Відповідно еквівалентні напруження у часі змінюються за таким законом

$$\frac{\sigma_{et}}{a_1} = \exp\left(-\frac{t}{t_k} \ln\left(1 - \frac{U_t}{U_{t=t_k}}\right)\right). \quad (7)$$

Геомеханічні процеси, що діють у викидонебезпечному масиві гірських порід у процесі відпрацювання лав, складні за своєю природою і суттєво нелінійні. Визначення їх динаміки на основі аналітичних підходів майже неможливе. Найбільш надійним способом урахувати часові процеси при відпрацюванні лавами ділянки вугільного родовища можливо ґрунтуючись на емпіричних залежностях, які можуть бути отримані у ході натурних досліджень. Для визначення величини реологічного коефіцієнту b_t були виконані натурні виміри у виробках. Вимірювались у часі горизонтальні переміщення на чотирьох контурних станціях (ВПУ1, ВПУ2, ЛХ1, ЛХ2) та переміщення точок масиву навколо виробок на глибинній станції (рис.2).

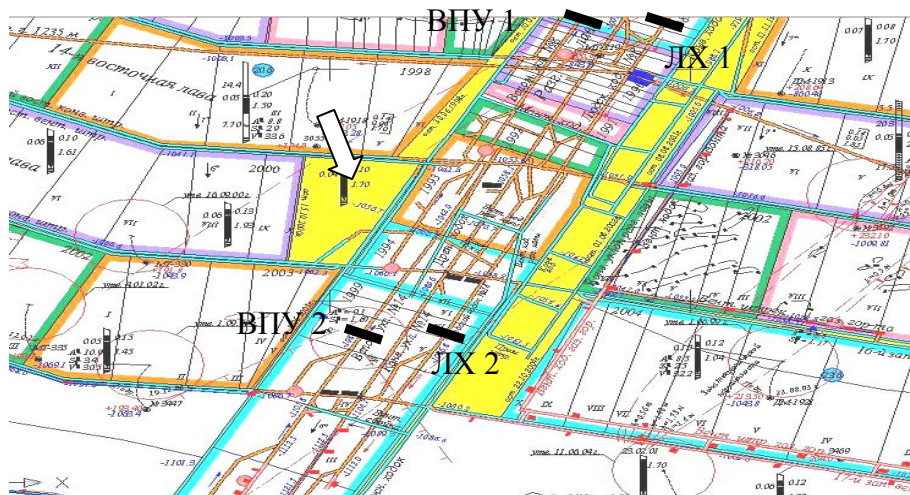


Рис. 2. Вимірні станції в уклінних виробках розвантажувальної лави пласта m^3

Станції ВПУ1 і ВПУ2 були розташовані в допоміжному уклоні, а станції ЛХ1 й ЛХ2 – в людських ходках. За індикатор змінного рівня гірського тиску використовувалась величина переміщення бокових стінок уклінних виробок. В межах кожної вимірювальної станції були обладнані 5 пар контурних реперів з глибиною закладення 0,5 м. Відстань між парами реперів складає 8 м. Вимірювання виконувались протягом 10 років.

Враховуючи те, що часові процеси торкаються всього масиву, була додатково облаштована глибинна станція в уклоні № 14, що підтримується у відпрацьованому просторі розвантажувальної лави пласта m^3 . Станція складається із свердловини довжиною 6 м у покрівлі виробки, в якій встановлені вісім глибинних реперів. Приклад результатів вимірів наведений на рис. 3.

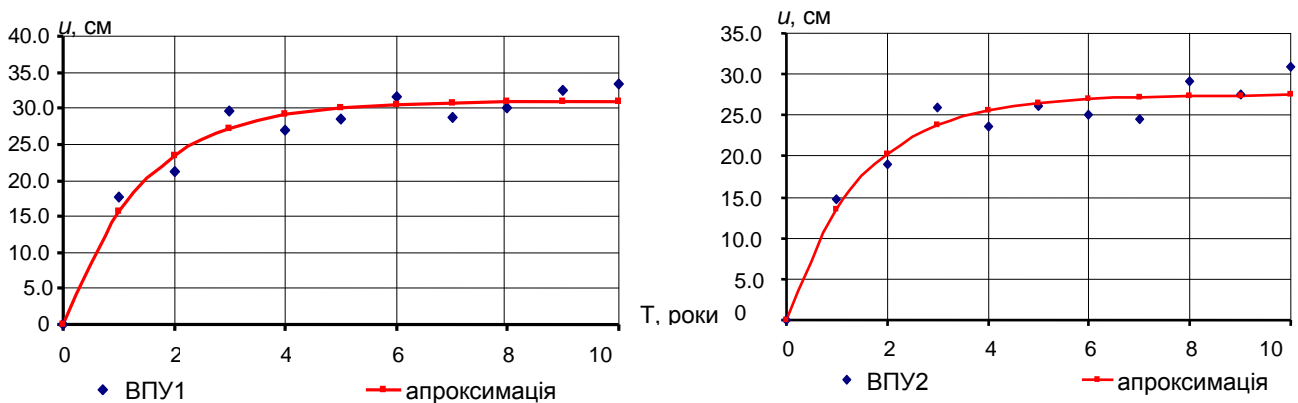


Рис. 3. Зміни в часі горизонтального переміщення U на станціях ВПУ1 і ВПУ2

Результати натурних вимірів у відносних одиницях наведені на рис. 4, а обраховані зміни у часі реологічного коефіцієнту v_t та швидкості його зміни – відповідно на рис. 5а і 5б.

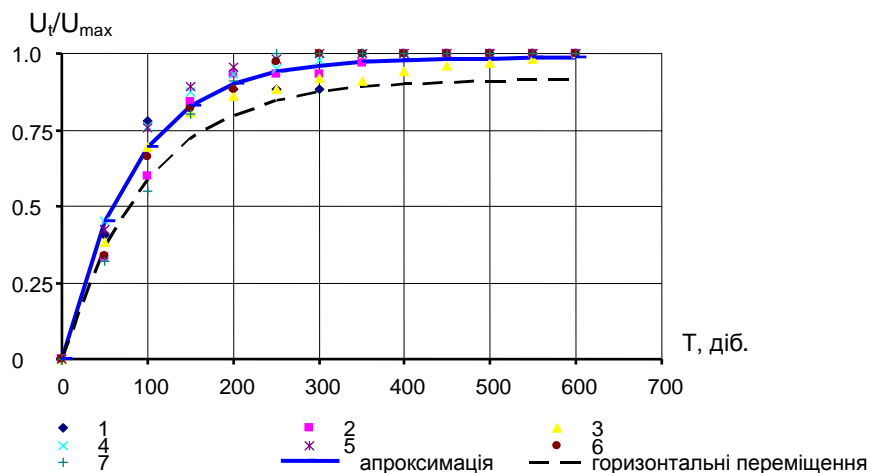
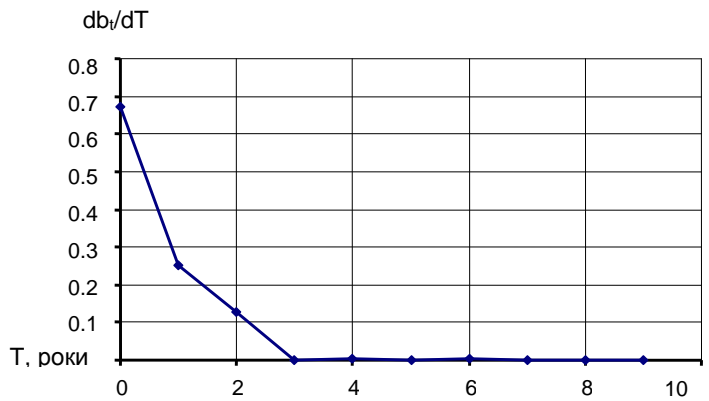
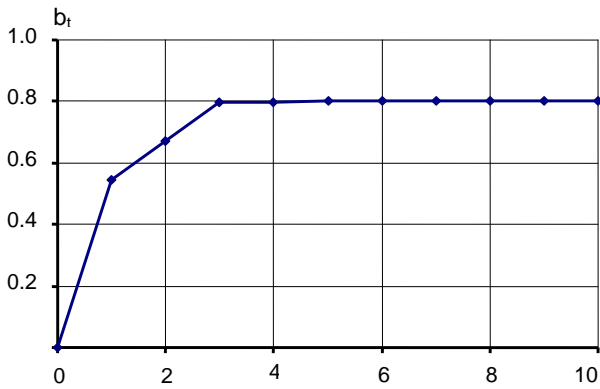


Рис. 4. Порівняння характеру відносних переміщень U_t/U_{max} глибинних реперів (1...7) та горизонтальних переміщень боків виробок у часі (T)



а)

б)

Рис. 5. Зміни у часі (T) величини реологічного коефіцієнта b_t (а) та швидкості його зміни (б)

Результатами досліджень підтверджено, що переміщення точок породного масиву у часі навколо підземних виробок з достатньою точністю (відхилення не перевищують 15 %) описується експоненціальною залежністю. Це дозволило у подальшому шляхом введення реологічного коефіцієнту в геомеханічну модель оцінювати рівень напруженого стану при відпрацюванні вугільного пласта. На рис. 6 наведений приклад розподілу коефіцієнта концентрації напружень на період, коли були відпрацьовані 18-ті лави західного крила ділянки, що досліджується.

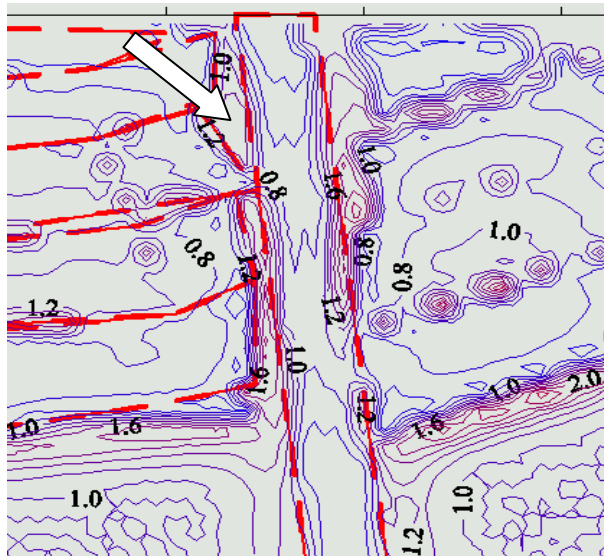


Рис. 6. Просторовий розподіл концентрації напружень в процесі розвитку очисних робіт

Аналіз рішень показує, що з часом концентрація напружень знижується, наближаючись до гідростатичного розподілу.

На основі запропонованої геомеханічної моделі обґрунтована довжина розвантажувальної лави, що формує зону розвантаження. Рис. 7 ілюструє, як змінюється максимальна величина коефіцієнта концентрації напружень у характерних перерізах в залежності від довжини лави.

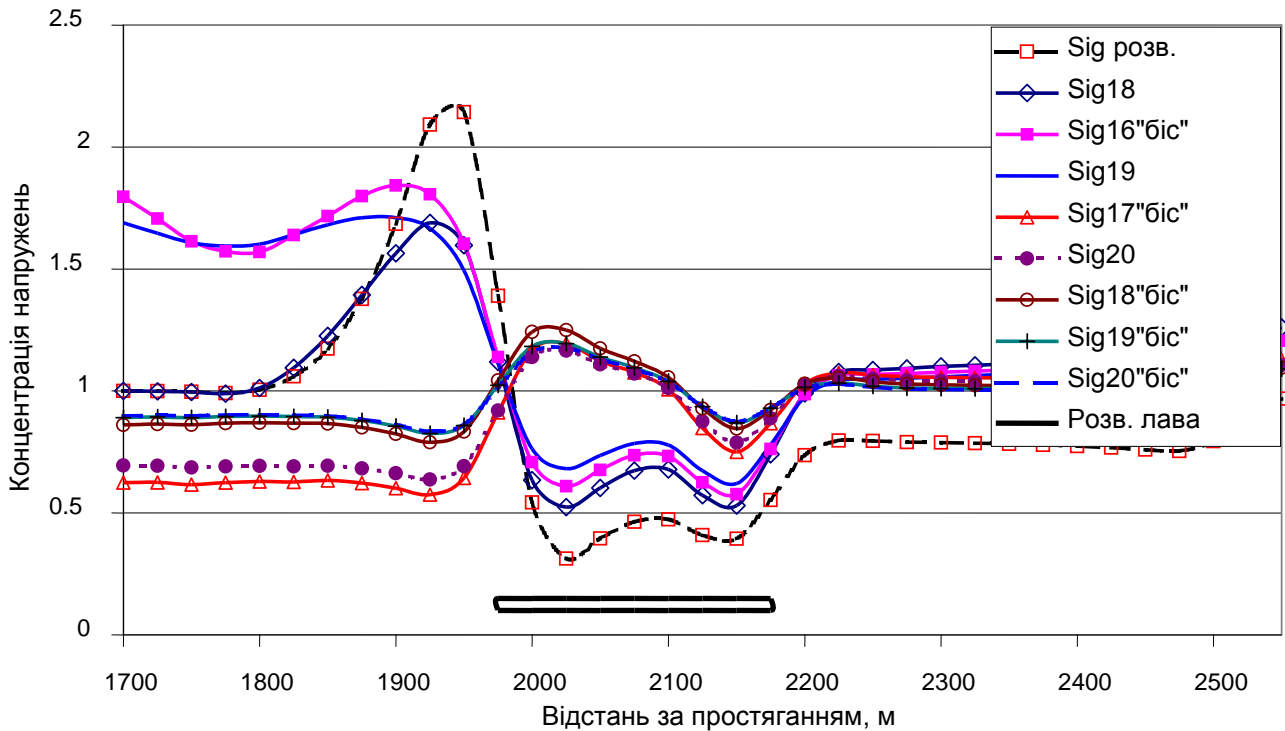


Рис. 7. Розподіл величин коефіцієнтів концентрації еквівалентних напружень σ_e за розвитком очисних робіт при довжині лави 200 м

На основі запропонованої геомеханічної моделі були виконані варіантні розрахунки. Розрахунки виконувались при довжині розвантажувальної лави від 150 до 300 м, з урахуванням фактору часу. Всього було змодельовано 15 етапів розвитку очисних робіт. Розрахунок повного розвитку очисних робіт виконувався за п'ятьма варіантами, для яких довжина розвантажувальної лави складала 150, 200, 250, 300, 350 м. На кожному етапі розраховувався також еквівалентний напружений стан на всій площі пласта.

Значення реологічного параметру було отримане на основі аналізу процесу зростання горизонтальних переміщень у часі, тобто на контурі виробок. Реологічні процеси діють у межах всього породного масиву, що деформується. Для того, щоб поширити отриману залежність на весь породний масив слід було перевірити, чи є ця залежність характерною для точок масиву, розташованих за контуром виробки. Цій меті була підпорядкована спостережна станція в укліні № 14, що підтримувався у виробленому просторі розвантажувальної лави пласта m^3 . Виробка має переріз площею $13,8 m^2$, закріплена металевим рамним податливим кріпленням через 0,8 м, затягування - залізобетонне. У вимірювальній свердловині було встановлено вісім глибинних реперів. Результати вимірювань і моделювання свідчать, що при великій довжині розвантажувальної лави зростання напружень в будь-якій точці регіональної зони розвантаження стає мінімальним, а в середній частині розвантаженої зони й зі сторони першої суміжної лави дещо перевищує 0,4. В подальшому цей показник сягає 1,0 і з боку протилежної лави змінюється в межах 0,73-1,61 залежно від довжини розвантажувальної лави.

Ці результати мають важливе практичне значення, оскільки очевидний вплив довжини розвантажувальної лави на формування регіональної зони розвантаження. За затухаючої тенденції розвантаження видно, що подальше збільшення довжини лави недоцільне, оскільки параметри регіональної зони стабілізуються.

Встановлена закономірність зниження і подальшої стабілізації зростання гірського тиску в межах регіональної зони розвантаження під негативним впливом активізації зрушень масиву гірських порід у результаті безціликового виймання суміжних запасів при зміні довжини розвантажувальної лави пояснюється наступним. Вироблений простір регіональної зони розвантаження виконує роль цілика з підвищеною податливістю, оскільки внаслідок незворотних зрушень підробленої товщі, зрушені й ущільнені породи повністю заповнюють порожнечу після відпрацювання розвантажувальної лави. Реологічні процеси сприяють ущільненню зазначеної зони, посилюють її жорсткість і наближають за реакцією процесу активізації зрушень масиву гірських порід до цілини.

Доведено, що у разі двох- або тристороннього оконтурення, граничний стан цілика вугілля на великій глибині може виникнути при його ширині від 150 до 270 м. Подальше збільшення цілика змінює його реакцію на активізацію зрушень масиву гірських порід, яка властива крайовій частині незайманого пласта. Іншими словами, збільшення ширини цілика понад 300 м стабілізує його реакцію на динамічний опорний тиск, що генерується відпрацюванням суміжної лави.

На рис. 8, 9 наведені графіки зміни коефіцієнта концентрації напружень у характерних точках перерізу від довжини розвантажувальної лави. З них стає зрозумілим, що зростання концентрації напружень в регіональній зоні розвантаження зі сторони суміжних лав зменшується при збільшенні довжини розвантажувальної лави. Епюра зростання коефіцієнту концентрації напружень асиметрична відносно до вертикальної вісі і має екстремум. Починаючи з довжини лави, що дорівнює 250 м, концентрація напружень зменшується і стабілізується при довжині лави, що дорівнює 300 м.

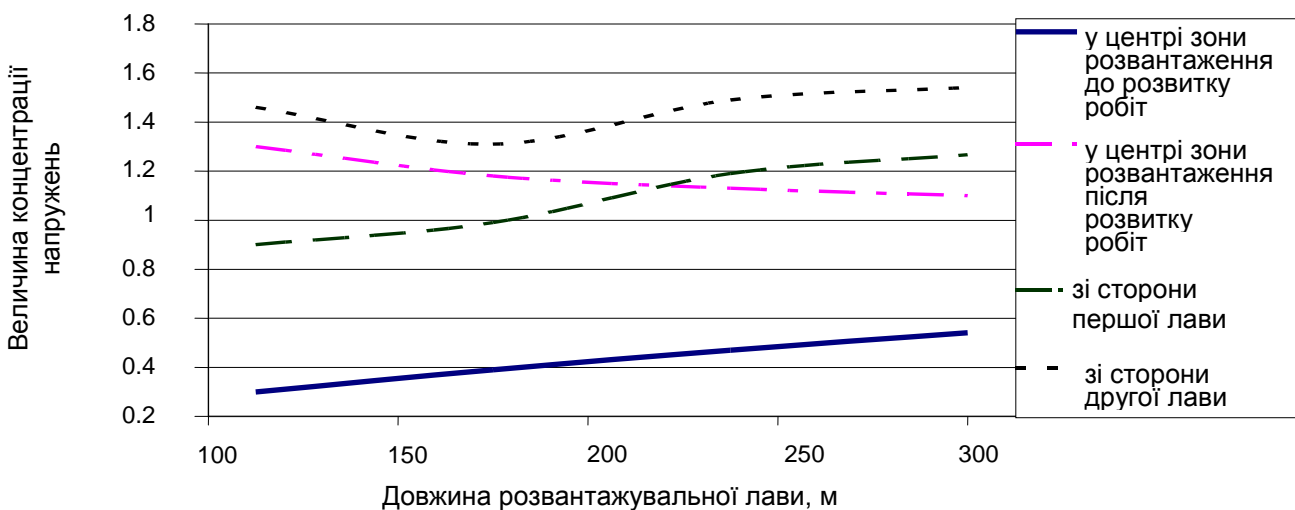


Рис. 8 Залежність концентрації напружень від довжини розвантажувальної лави

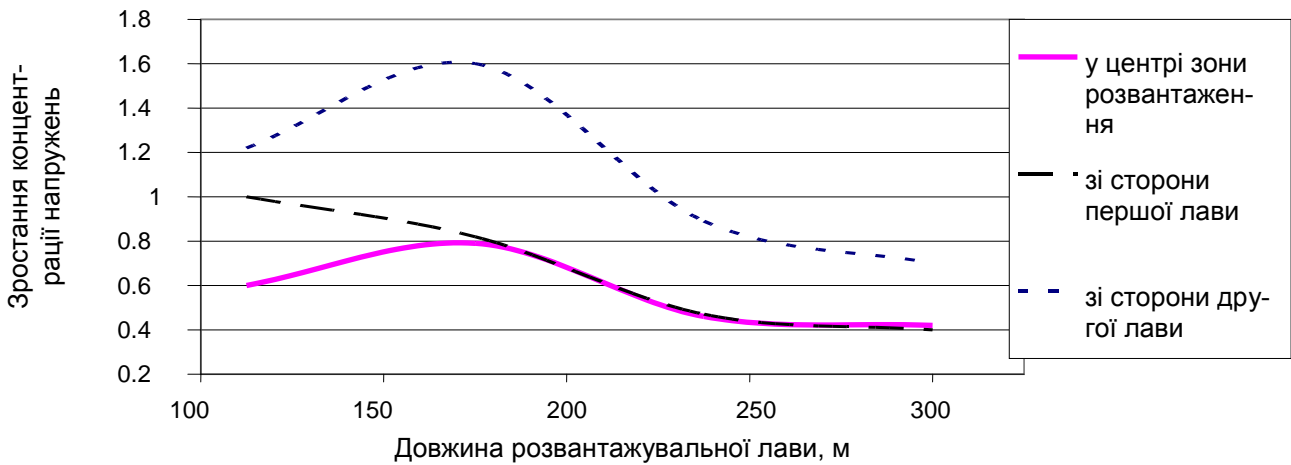


Рис. 9. Залежність зростання концентрації напружень від довжини розвантажувальної лави

Результуюча залежність зміни концентрації еквівалентних напружень за різної довжини розвантажувальної лави наведена на рис. 10.

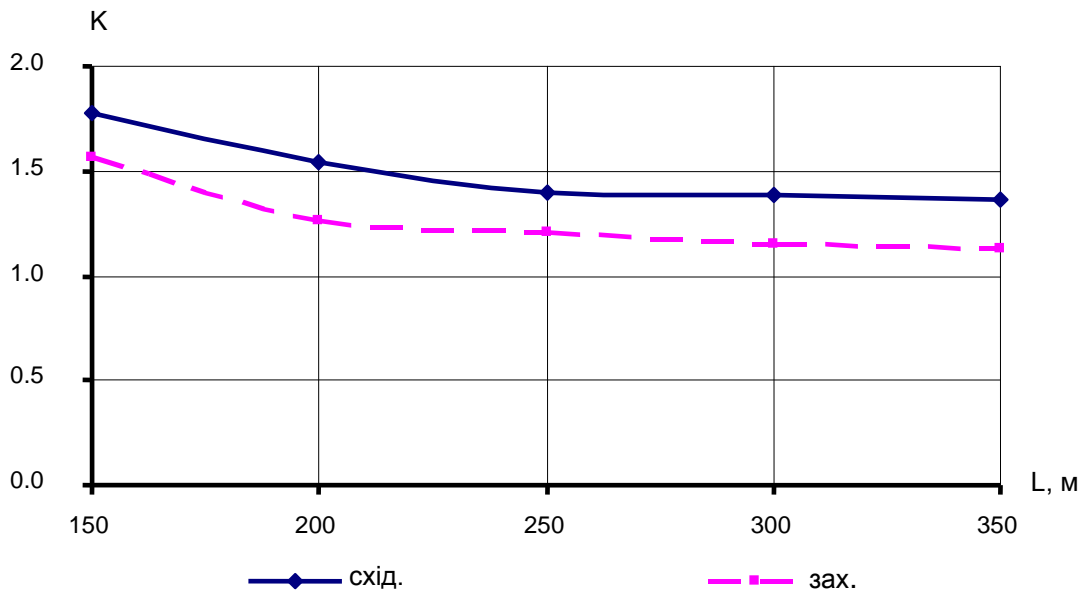


Рис. 10. Залежність зміни концентрації еквівалентних напружень (K) з різних сторін та за різної довжини розвантажувальної лави

За наведеними результатами можна стверджувати, що розподіл величини коефіцієнта концентрації напружень нелінійно зменшується як праворуч, так і ліворуч від границі розвантажувальної лави, є асиметричним по відношенню до вертикальної вісі поперечного перетину, і стабілізується при довжині лави, яка дорівнює 275-325 м, що дозволяє встановлювати раціональну ширину зони розвантаження й визначати границі закладення уклінних виробок.

З технологічних та наведених геомеханічних міркувань рекомендується прийняти довжину розвантажувальної лави 300 м. При цьому трасу уклінних виробок слід закласти таким чином, щоб вони були зміщені до її західної границі, де концентрація напружень нижче.

Рациональне розташування уклінних виробок полягає у тому, щоб змістити їх у бік першої лави, яка буде відроблятися у кожному ярусі проти відпрацьованого простору розвантажувальної лави. При цьому, використовується позитивний ефект, який полягає у зниженні негативного впливу активізації зрушень над суміжними з регіональним розвантаженням відступаючими лавами. Інтенсивність конвергенції на контурі основних виробок, які підтримуються у регіональній зоні розвантаження, зменшується за інших рівних умов на 30 %.

Крім зазначеного варіанту планування гірничих робіт в дисертації розглянуті два альтернативні варіанти. В першому варіанті з західного боку регіональної зони розвантаження залишається захисна смуга вугілля шириною 200 м. При цьому варіанті на всій трасі уклінних виробок концентрація напружень в 2,4 рази менше, ніж при безціликовій відробці. У стільки ж разів слід очікувати зниження витрат на підтримку виробок. Ускладненнями, що виникають при реалізації даної схеми, можуть бути втрати вугілля, його самозаймання, необхідність проведення противикидних заходів.

Другий альтернативний варіант передбачає створення регіональної зони розвантаження не шляхом відпрацювання спеціальної лави, а за рахунок крайової частини суцільного виробленого простору, який утворюється при роботі східних лав, що відходять від розрізних печей. Цей варіант є цілком конкурентоспроможним відносно до основного, хоча й більш складним в організаційному плані.

Для обґрунтування раціонального місця розташування камер піднімальних машин були побудовані епюри коефіцієнту концентрації напружень вздовж трьох перетинів за простяганням і трьох перетинів за падінням. З урахуванням цього остаточне положення уклінних виробок, для варіанту безціликового відпрацювання суміжних з регіональною зоною розвантаження запасів, полягає у розташуванні виробок і камер підйомного устаткування з довжиною розвантажувальної лави 300 м, а суміжні запаси відпрацьовуються без залишення ціликів.

Дослідження, виконані в дисертації, використовуються при проектуванні гірничих робіт на шахті ім. А.Ф. Засядька. Досягнутий економічний ефект становить понад 2 млн. грн. на рік.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішена актуальна наукова задача встановлення нових закономірностей асиметричного розподілу напружень у часі в регіональній зоні розвантаження під впливом активізації зрушень масиву гірських порід навколо очисних виробок, що кількісно визначається встановленим реологічним показником і довжиною розвантажувальної лави та дозволяє обґрунтувати порядок відпрацювання запасів вугілля і розташування виробок.

Основні результати досліджень полягають у наступному.

1. Виконані натурні дослідження зміни у часі деформацій породного масиву навколо підготовчих виробок, що дозволило встановити основні закономі-

рності цих змін для умов викидонебезпечних пластів на глибинах понад 1000 м (шахта ім. О.Ф. Засядька).

2. Обґрунтована геомеханічна модель для розрахунку напруженого стану породного масиву в процесі розвитку очисних робіт з урахуванням реологічних властивостей порід на основі встановлених емпіричних залежностей у регіональній зоні розвантаження.

3. Встановлено, що безціликове відпрацювання суміжних запасів біля границь регіональної зони розвантаження, що розташована у масиві пружних гірських порід, призводить до концентрації напружень з сумарною епюрою зростання концентрації напружень симетричного вигляду. При урахуванні процесів повзучості симетрія порушується - приріст коефіцієнту концентрації напружень з боку першої суміжної лави сягає 1,0, в той же час з боку другої лави, що відпрацьовується з протилежної сторони від регіональної зони розвантаження, цей показник змінюється в межах 0,73-1,61 в залежності від довжини розвантажувальної лави.

4. Зростання напружень у результаті відпрацювання першої суміжної лави ярусу затухає зі збільшенням довжини розвантажувальної лави. Зростання напружень у центрі регіональної зони розвантаження має екстремум з максимумом при довжині розвантажувальної лави, що дорівнює 150 м, причому зі збільшенням довжини лави приріст напружень швидко зменшується, а починаючи з довжини лави 300 м і більше стає стабільним і не перевищує 0,7. Подальше збільшення довжини розвантажувальної лави призводить до ускладнення технології добування вугілля.

5. Встановлена фізична природа отриманої закономірності зменшення і стабілізації гірничого тиску в межах регіональної зони розвантаження зі збільшенням довжини розвантажувальної лави. Вона полягає у тому, що під впливом незворотних процесів зрушення, повзучості породного масиву відбувається збільшення жорсткості відпрацьованого простору в межах зони розвантаження. В результаті цей простір реагує на динамічний опорний тиск, що генерується суміжними лавами як цілик, критичні розміри якого складають 150-270 м.

6. Нерівномірність поточного розподілу гірничого тиску в межах регіональної зони розвантаження зменшується з часом. У зв'язку з цим рекомендується шляхом моделювання вибирати такі рішення при плануванні безціликового розвитку очисних робіт, які забезпечують мінімізацію зростання гірського тиску на стадії активних зрушень масиву гірських порід, коли відбувається злиття відпрацьованих просторів розвантажувальної лави і суміжних лав.

7. Основні закономірності зміни параметрів регіональної зони розвантаження при відпрацюванні суміжних з нею лав використані при проектуванні розвитку очисних робіт в межах шахтного поля Кальміуської ділянки. Це дозволило підвищити стійкість основних уклінних виробок за рахунок мінімізації зростання гірського тиску в процесі активізації зрушень при відпрацюванні суміжних лав у ярусах, визначити раціональні місця їх розташування, а також встановити місця розташування камер піднімальних машин.

8. Методика визначення параметрів регіональної зони розвантаження, підготовки і порядку відпрацювання Кальміуської ділянки затверджена і викори-

стовується при проектуванні гірничих робіт на шахті ім. О.Ф. Засядька. Економічний ефект від впровадження розробок складає понад 2,0 млн. грн. на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Нечепоренко А.Б. Особенности неупругого деформирования пород вокруг полевых выработок, охраняемых в региональной зоне разгрузки / Бокий Б.В., Опрышко Ю.С., Нечепоренко А.Б. // Проблемы гірського тиску. Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – №13. – С. 147-158.

2. Нечепоренко А.Б. Особенности вторичной активизации опорного давления в охранных целиках / Нечепоренко А.Б. //Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2005. – №56. – С. 141-147.

3. Нечепоренко А.Б. Разработка методики испытаний влияния метана на параметры ползучести углевмещающих пород / Демченко А.И., Нечепоренко А.Б., Варвашенко В.П. // Проблемы гірського тиску. Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – №14. – С. 252-269.

4. Нечепоренко А.Б. Аналіз причин газодинамічних явищ в процесі першої посадки покрівлі при відпрацюванні вугільних пластів на великій глибині в газонасиченому масиві гірських порід / Єфремов І.О., Нечепоренко А.Б., Назимко В.В. // Проблемы гірського тиску. Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – №15. – С. 72-103.

5. Нечепоренко А.Б. Численное моделирование процесса развития горных работ на Кальмиусском участке шахты им. Засядько / Пустовойтенко В.П., Нечепоренко А.Б. // Науковий вісник НГУ, 2008. – №4. – С. 27-30.

6. Нечепоренко А.Б. Обоснование длины разгрузочной лавы и места расположения подготовительных выработок в уклонной панели Кальмиусского рудника шахты им. А.Ф. Засядько/ Нечепоренко А.Б. // Науковий вісник НГУ, 2008. – № 8. – С. 53-57.

7. Нечепоренко А.Б. Разработка методики испытаний образцов угля и горных пород на ползучесть в газонасыщенном состоянии разработка рудных месторождений / Нечепоренко А.Б. // Научно-технический сборник КГТУ, 2005. – Вып. 89. – С. 42-43.

8. Нечепоренко А.Б. Вторичная активизация опорного давления в охранных целиках / Нечепоренко А.Б. // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. Материалы XV международной школы им. акад. С.А.Христиановича. – Симферополь: ТНУ, 2005. – С. 190-196.

9. Нечепоренко А.Б. Оценка эффективности работы анкерной крепи в шахтных условиях / Бокий Б.В., Цикра А.А., Нечепоренко А.Б., Опрышко Ю.С. // Прогрессивные технологии строительства, безопасности и реструктуризации горных предприятий. Материалы региональной научно-практической школы-семинара. – Донецк: Академия строительства Украины, 2006. – С. 100-103.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1, 3, 4, 9] – ідея, методика натурних вимірів, натурні виміри, обробка їх результатів; [5] – комп'ютерні обчислення моделей, аналіз результатів моделювання.

АНОТАЦІЯ

Нечепоренко А.Б. Обґрунтування технологічних параметрів підземного видобування вугілля з урахуванням динаміки регіональної зони розвантаження. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин. – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної наукової задачі обґрунтування параметрів підземного видобування вугілля з урахуванням динамічних змін напружено-деформованого стану гірських порід у регіональній зоні розвантаження. Основна ідея роботи полягає у використанні реологічних залежностей поведінки вуглевміщуючих гірських порід при аналізі геомеханічної моделі об'єкту досліджень. Реологічні параметри моделі встановлені шляхом виконання натурних досліджень в уклінних виробках Кальміуської дільниці шахти ім. О.Ф. Засядька. Ідентифікація моделі і натурального об'єкту виконана рішенням задачі, що відповідають реальним геологічним і гірничо-технічним умовам. Ці умови стосуються глибин, що перевищують 1000 м і характерні для викидонебезпечних вугільних пластів. Моделювання здійснене у декількох десятках варіантів положень зони розвантаження та лав, що відпрацьовуються. Встановлена асиметричність епюри коефіцієнтів концентрації напружень та визначена раціональна довжина розвантажувальної лави, що складає 300 м. Запропонована геомеханічна модель дає можливість оцінювати критичні напруження стану породного масиву навколо очисних виробок у процесі їх відпрацювання. На основі моделювання визначені місця закладення уклінних виробок і камер піднімальних машин.

Ключові слова: реологічні властивості, регіональна зона розвантаження, геомеханічна модель, розташування виробок, порядок відпрацювання.

АННОТАЦИЯ

Нечепоренко А.Б. Обоснование технологических параметров подземной добычи угля с учетом динамики региональной зоны разгрузки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.02 – Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. – Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010 г.

В диссертации решена актуальная научная задача установления новых закономерностей асимметричного распределения напряжений во времени в региональной зоне разгрузки под влиянием активизации сдвижений массива горных пород вокруг очистных выработок, которые количественно определяются

установленным реологическим показателем и длиной разгрузочной лавы, что позволяет обосновать порядок отработки запасов угля и расположение выработок.

Выполнены натурные исследования изменений во времени деформаций породного массива вокруг подготовительных выработок, что позволило установить основные закономерности этих изменений для условий выбросоопасных пластов на глубинах более 1000 м (шахта имени А. Ф. Засядько).

Предложена геомеханическая модель для расчета напряженного состояния породного массива в процессе развития очистных работ с учетом реологических свойств пород на основе установленных эмпирических зависимостей в региональной зоне разгрузки.

Установлено, что безцеликовая отработка смежных запасов у границ региональной зоны разгрузки, которая расположена в массиве упругих горных пород, приводит к концентрации напряжений с суммарной эпюрой возрастания концентраций напряжений симметричного вида. При учете процессов ползучести симметрия нарушается - возрастание коэффициента концентрации напряжений со стороны первой смежной лавы достигает 1,0, в то время как со стороны второй лавы, которая обрабатывается с противоположной стороны от региональной зоны разгрузки, этот показатель изменяется в пределах 0,73-1,61 в зависимости от длины разгрузочной лавы.

Рост напряжений в результате отработки первой смежной лавы яруса затухает с увеличением длины разгрузочной лавы. Рост напряжений в центре региональной зоны разгрузки имеет экстремум с максимумом при длине разгрузочной лавы равной 150 м, причем с увеличением длины лавы прирост напряжений быстро уменьшается, а начинается с длины лавы 300 м и более становится стабильным и не превышает 0,7. Дальнейшее увеличение длины разгрузочной лавы приводит к усложнению технологии ее отработки.

Установлена физическая природа полученной закономерности уменьшения и стабилизации горного давления в границах региональной зоны разгрузки с увеличением длины разгрузочной лавы. Она заключается в том, что под воздействием необратимых процессов сдвижения, ползучести породного массива происходит увеличение жесткости отработанного пространства в пределах зоны разгрузки. В результате это пространство реагирует на динамическое опорное давление, генерируемое смежными лавами как целик, критические размеры которого составляют 150-270 м.

Неравномерность текущего распределения горного давления в пределах региональной зоны разгрузки уменьшается со временем. В связи с этим рекомендуется путем моделирования выбирать такие планировочные решения при безцеликовом развитии очистных работ, которые обеспечивают минимизацию роста горного давления на стадии активных сдвижений массива горных пород, когда происходит слияние отработанных пространств разгрузочной лавы и смежных лав.

Основные закономерности изменения параметров региональной зоны разгрузки при отработке смежных с ней лав использованы при проектировании развития очистных работ в пределах шахтного поля Кальмиусского участка.

Это позволило повысить устойчивость основных уклонных выработок за счет минимизации возрастания горного давления в процессе активизации сдвигов при отработке смежных лав в ярусах, определить рациональные места их расположения, а также установить места расположения камер подъемных машин.

Методика определения параметров региональной зоны разгрузки подготовки и порядка отработки Кальмиусского участка утверждена и используется при проектировании горных работ на шахте им. А.Ф. Засядько. Ожидаемый экономический эффект составляет более 2 млн. грн. в год.

Ключевые слова: региональная зона разгрузки, реологические свойства породного массива, геомеханическая модель, размещение выработок, порядок отработки.

ABSTRACT

Necheporenko A.B. Substantiation the technological parameters of underground coal mining taking into account the dynamics of regional discharge zones. – Manuscript.

Thesis for Candidate of Science (Engineering) degree by specialty 05.15.02 – Underground mining of mineral deposits. National Mining University, Dnipropetrovs'k, 2010.

Thesis is devoted to study actual scientific problem underground mining parameters including dynamic changes of the stress-strain state of rocks in a regional zone of discharge. The main idea is to use a dependency of rheological behavior of rocks containing the analysis of geomechanical model of the object of research. Rheological parameters of the model established by execution of field research in the sloping section of the mine workings Kalmius'koy them. AF Mine. Identification and natural object model made the decision problems that correspond to real geological and mining-technical conditions. These conditions pertain to depths exceeding 1000 m and typical of coal seams, which occur in carbon emissions. Simulation performed in dozens of variations of the provisions unloading zone and ranks that are working out. Installed diagram asymmetry coefficients of stress concentration and length the rational unloading bench, which is 300m. Geomechanical model proposed allows to assess the critical stress of rock mass around excavations in the process of cleaning them off. Based on the simulation set points for inclined excavations and chambers for hoisting machines.

Keywords: rheological properties, regional discharge zone, geomechanical model, the location of mines, the order of testing.