

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА

Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Февральова Валерія Михайловича
(ПІБ)

академічної групи 184м-17-3
(шифр)

спеціальності 184 Гірництво
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ ”Будівельні геотехнології і геомеханіка”
за освітньо-професійною програмою ”Гірництво”
(офіційна назва)

на тему : «Дослідження конфігурації зони непружної деформації навколо гірничої виробки при зміні коефіцієнта бічного розпору», (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи				
розділів:				
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро
2018

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів. Містить 70 малюнків і 21 таблицю. Загальний обсяг пояснювальної записки складає 74 сторінки.

Мета роботи полягає в оцінці впливу коефіцієнта бічного розпору на напружено-деформований стан породного масиву в межах одиночної гірничої виробки.

Ідея роботи полягає в урахуванні особливостей напружено-деформованого стану вміщає вироблення неоднорідної породної середовища при формуванні навантаження на кріплення протяжних виробок.

Об'єктом дослідження є геомеханічні процеси, що розвиваються навколо гірничої виробки.

Предмет досліджень - напружено-деформований стан неоднорідного приконтурного породного масиву в околиці капітальної протяжної виробки.

Методи досліджень. В якості основного методу досліджень був використаний комплексний підхід до виконання наукових досліджень, який полягав у виконанні аналізу інформаційних джерел в області стійкості гірничих виробок і геомеханіки, дослідженні чисельних моделей.

Основні завдання досліджень:

- аналіз виробничої діяльності вугільних шахт Західного Донбасу;
- розробка розрахункових схем і чисельних моделей;
- оцінка впливу величини коефіцієнта бічного розпору на конфігурацію і розміри зон непружних деформацій в околиці протяжних капітальних виробок.

Наукове значення роботи

Виконано оцінку впливу коефіцієнта бічного розпору на розміри зони непружних деформацій навколо виробки.

Практичне значення роботи полягає в можливості урахування коефіцієнта бічного розпору при будівництві гірничих виробок в Західному Донбасі.

Ключові слова: *зона непружних деформацій, коефіцієнт бічного розпору, метод кінцевих елементів.*

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1. Аналіз стану вугільних шахт Західного Донбасу	4
1.1. Сучасний стан і перспектива розвитку гірничих робіт на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».....	4
1.2. Аналіз гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів, що ускладнюють ведення гірничих робіт.....	8
Розділ 2. Оцінка стану протяжних виробок шахт Західного Донбасу	13
2.1. Фактори, що визначають стійкість капітальних гірничих виробок	13
2.2. Передумови до розрахунку кріплення капітальної гірничої виробки...24	24
Розділ 3. Імовірний показник стійкості гірничих виробок.....	28
Розділ 4. Теоретичні дослідження стійкості капітальних гірничих виробок.....	38
4.1. Алгоритм визначення напружено-деформованого стану породного масиву методом кінцевих елементів.....	38
4.2. Оцінка впливу коефіцієнта бічного розпору на напружено- деформований стан приконтурного породного масиву в околиці одиначної гірничої виробки.....	40
4.3. Дослідження параметрів геомеханічного стану навколо капітальних виробок на основі дискретної 3Д-моделі	51
Висновки	61
Список використаної літератури	62

ВСТУП

Тенденція розвитку гірничих робіт в Західному Донбасі така, що в недалекому майбутньому продуктивні пласти будуть розроблятися на глибинах, близьких до 900 м. З огляду на невисоку міцність вуглевміщуючих порід і низький ступінь їх метаморфізму, прояви гірського тиску, такі як вивалоутворень, здимання порід ґрунту, інтенсифікуються, що неминуче призведе до погіршення умов розробки вугільних пластів і зниження стійкості протяжних виробок, в тому числі і капітальних, розташованих поза зоною ведення очисних робіт.

Вугілля в Західному Донбасі видобувається в складних гірничо-геологічних умовах і, в зв'язку з цим його собівартість досить велика. Конкурентоспроможність товарного вугілля залишається низькою. Чималу частину в собівартості видобутого вугілля складають витрати, пов'язані з ремонтом гірничих виробок.

Зниження цих витрат є актуальною науково-технічною задачею, що має важливе народногосподарське значення.

Також важливим фактором є витрати на зведення кріплення гірничих виробок. При цьому якщо не врахувати основні фактори, що впливають на її стійкість то незабаром кріплення вимагатиме виконання незапланованих ремонтних робіт і створить загрозу безпечному експлуатаційного стану вироблення, проте надмірний запас її міцності призведе до необґрунтованих витрат.

Саме вивчення цих питань і присвячена дана робота.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СТАНУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

1.1. Сучасний стан і перспектива розвитку гірничих робіт на шахтах ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

Підприємства публічного акціонерного товариства «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ» в кількості 10 діючих шахт з проектною потужністю 12510 тис. Тонн вугілля на рік розташовані на лівому схилі вугільного родовища Дніпровсько-Донецької западини. Промислові запаси станом на 01.01.2014 року становлять понад 600 млн. Тонн.

Промислове значення підтверджують 15 ÷ 20 вугільних пластів, які відносяться до тонких по потужності і щодо витриманим як по потужності, так і по площі поширення. Відстань між пластами коливається від 4 ÷ 6 м до 40 ÷ 60 м. Будова пластів проста з переважаючою потужністю 0,55 ÷ 0,95 м. Глибина залягання пластів до 900 м.

Відмінною особливістю родовища є міцний і в'язкий вугілля ($f = 3,0 \div 4,5$ за шкалою проф. Протод'яконова) з опірністю різання 2,5 ... 5,2 кН і слабкі, схильні до здимання породи ґрунту і покрівлі пласта: аргіліт і алевроліт ($f = 1,0 \dots 3,5$), які при зволоженні розмокають, втрачаючи при цьому 50-80% міцності властивостей □1□.

Вугілля Західного Донбасу ставляться до середньозолних, середньосерністих, газових, слабоспечуваних, що володіє підвищеною коксівною здатністю. Зольність чистих вугільних пачок коливається від 3 до 25%, вміст сірки - від 0,5 до 3,5%, вихід летких - від 35 до 45%, теплотворна здатність в середньому по пластах - від 7700 до 8400 ккал / кг. Вугільні пласти не схильні до самозаймання, не є небезпечними щодо раптових викидів і гірничих ударів, але небезпечні по пилу.

З 10 шахт Західного Донбасу 4 шахти - надкатегорійні, 1 шахта - II-ої категорії, решта - III-ї категорії. Короткі відомості про шахти ПАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ» наведені в табл. 1.1.

Гідрогеологічні умови родовища складні. Вугільні пласти мають вихід під покривні відкладення бучакського водоносного горизонту. Загальношахтний приплив води у них коливається від 50 до 1200 м³ / год, загальний водоприток по ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» становить 4990 м³ / год.

Всі 10 гірничих відводів шахт розкриті 24 центральнo-здвоєними вертикальними стволами. Для поліпшення провітрювання комплексу виробок пробурено 8 вентиляційних свердловин. Система підготовки запасів - Погоризонтного по пластах, відпрацювання лав - по повстанню, падіння пласта без ціликів з повним обваленням.

Застосування прохідницьких комбайнів 4ПП-2М, КСП-22, 1ГПКС, 1П-110, КСП-32, КСП-33, EBZ-160 (фірма SANY, Китай) дозволило збільшити і постійно тримати високі темпи проведення гірничих виробок, поліпшити їх стан, знизити витрати на проведення і підтримку.

Аналізуючи показники роботи шахт за останні п'ятнадцять років, простежується тенденція значного погіршення всіх техніко-економічних показників з 1991 року по 1998 рік і поліпшення їх з 1999 року по 2010 рік включно. Особливо необхідно відзначити післяприватизаційний період з липня 2004 року по теперішній час, що характеризується стійким зростанням обсягів виробництва і економічних показників роботи підприємств.

Існуюча в даний час технологія видобутку вугілля з відпрацюванням виїмкових стовпів довжиною до 2500 м лавами довжиною 200 ÷ 300 м по повстанню, падіння очисними комплексами КД-80, КД-90, ДМ, «Ostroj», стругами, комбайнами КА-80, КА200, УКД200 ÷ 250, УКД300, МВ410Е, МВ444 забезпечує максимальне навантаження в межах 1400 тонн на добу і якість вугілля, що видобувається на рівні 39%.

Таблица 1.1

Общие сведения о шахтах ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

Шахта	Запаси промислові, тис. Тонн		Проектна потужність, тис. тонн	Категорія по СН4	Марка вугілля	Глибина ведення робіт, м	Пласти, шт.л		Середня геологічна потужність пластів, що розробляються, м	Промислові запаси по потужностям, %		
	Усього	реальні до відпрацювання					с балансовими запасами	Розробляються		до 0,8 м	0,8-1,0 м	св. 1,0 м
Терновська	37 140	25 028	900	сверх.	ДГ (енерг.)	216	8	4	1,04	32,4	32,9	34,7
Павлоградська	25 345	26 209	1 200	III	ДГ (енерг.)	230	5	4	1,07	45,0	44,2	10,8
ім. Героїв Космоса	155 856 л	112 712	1 500	сверх.	ДГ (енерг.)	424	7	3	0,86	39,2	40,7	20,1
Благодатна	46 747	19 440	1 200	III	ДГ (енерг.)	331	10	3	0,92	18,7	58,1	23,2

Степна	158 970	50 385	900	II	Г (кокс)	400	11	3	0,77	76,9	23,1	0,0
Ювілейна	41 424	21 080	1 200	II	Г (кокс)	368	6	2	0,80	57,8	26,6	15,6
Самарська	64 112	55 476	1 800	III	ДГ (енерг.) , Г (кокс)	195	6	2	0,88	54,2	44,2	1,6
Дніпровська	85 751	64 573	1 500	III	ДГ (енерг.)	290	8	3	0,82	56,6	11,3	32,1
Західно-Донбаська	166 254	145 339	1 500	сверх.	Г (кокс)	567	8	3	0,92	50,2	34,1	15,7
ім. Сташкова	29 035	13 542	1 500	II	Г (кокс)	343	8	3	0,98	61,0	29,6	9,4

1.2. Аналіз гірничо-геологічних і гірничотехнічних факторів, що ускладнюють ведення гірничих робіт

Узагальнення результатів досліджень, виконаних в Західному Донбасі, дозволило охарактеризувати гірничо-геологічні та гірничотехнічні особливості цього вугільного родовища.

В геологічну будову родовищ вугілля беруть участь пухкі обводнені четвертинні відкладення і корінні породи карбону. Відкладення карбону укладають в собі 60 вугільних пластів і прошарків, потужністю від декількох сантиметрів до 2 м.

На різних ділянках продуктивної товщі до 20 вугільних пластів досягають робочої потужності і лише 8 пластів має промислове значення. Глибина залягання вугільних пластів промислового значення від 105 до 760 м. Вугілля нашарування порід змінюється від 0 до 5 °.

Продуктивна товща литологічно представлена алевролітами і аргілітами (до 90%), пісковиками і пластами вугілля.

Аргіліти і алевроліти, як правило, складають покрівлю та ґрунт вугільних пластів. У рідкісних випадках покрівля або ґрунт вугільних пластів представлена пісковиками.

Аргіліти і алевроліти на окремих ділянках характеризуються яскраво вираженою тонкослоїстою текстурою і наявністю слабого (в окремих різновидах - повною відсутністю) зчеплення між шарами. Потужність їх шарів від декількох міліметрів до 10-15 см. По площинах нашарувань спостерігається углисто-слюдисті присипки, глинисті прошарки товщиною до 1 мм, чергування пластичних глинистих шарів, наявність гліносідеритових прошарків і т.д., які створюють природні площини ослаблення. Останні є ознаками текстурної анізотропії порід, що вміщують.

Характеристики міцності показники аргиллитів і алевролітів природного стану, певні в лабораторних умовах на стандартних зразках, змінюються в досить великих межах.

Пісковики відкладень карбону переважно представлені сірими, тонко і дрібнозернистими різницями, макро- і мікропористі, складаються з зерен, скріплених в більшості випадків слабким глинистим цементом (25-45% від усього обсягу породи), вкрай рідко - вапняним цементом. В останньому випадку пісковики відрізняються великою міцністю і абразивністю.

Пісковики на глинистому цементі нестійкі і при оголенні размокають у воді, розпадаючись на складові (пісок і глину).

Пласти і прошарки вугілля відрізняються високою міцністю ($R_{сж}$ від 30 до 40 МПа), в'язкістю і трещиноватістю, в більшості своїй водоносних, міжшарові зв'язку між обводненими вугіллям і вміщують породами практично відсутні.

Шаруватість корінних порід істотно впливає на стійкість приконтурного шару порід при розтині їх виробками. Як правило, обвалення оголених порід відбувається по найбільш ослабленою межслойной зв'язку, яка, таким чином, визначає потужність пластів порід, які беруть участь в процесі формування зон зруйнованих порід.

В тектонічному відношенні характерною рисою шахт Західного Донбасу є наявність розривних дислокацій і характерною блокової структури. На території району зафіксовано при проведенні капітальних підготовчих гірничих виробок ряд тектонічних порушень, розтин яких призводить до раптових вивалився порід покрівлі всередину незакріпленої вироблення. Відкладення розбиті субвертикальної трещиноватістю (тріщини «всихання») двох взаємно перпендикулярних систем.

Система субвертикальних (по відношенню до елементів залягання пластів порід, що вміщують) тріщин в основному є літогенетических, тобто виникає при деформації порід в процесі формування родовища. Тріщини приурочені до всіх, за винятком деяких пластів пісковика і прошарків вапняку, литологическим різницям масиву. При цьому в більшості випадків тріщини

проявляються в літологічески різних пластах, в основному не співпадає один з одним. Тріщинуватість рідкісна з відстанню між тріщинами одного напрямку від 15 до 25 см (6-4 тріщини на 1 м). Тріщини закриті, контакт між ними чітко виражений, в окремих випадках - прихований (в цих випадках має місце незначне зчеплення між контактуючими площинами тріщини). По відношенню до елементів пласта (падіння і простягання) система тріщин займає різне місце розташування. Кут зустрічі прохідною вироблення і тріщин в основному визначається елементами залягання пластів і просторовими параметрами, і типом прохідною вироблення (квершляжная або штрекового вироблення, кут нахилу і азимут її розташування). При розкритті пластів виробками було зафіксовано падіння тріщин як всередину вироблення, так і на масив порід, що вміщують, про що свідчать мали місце раптові відшарування від грудей вибою і вивалив порід всередину вироблення.

Водоносність кам'яновугільних відкладень нерівномірна. Водовмещаючими є вугільні пласти і пісковики. Аргіліти і алевроліти в природному стані абсолютні водоупором. Підземні води напірні, сильно мінералізовані, агресивні до всіх видів бетону і тампонажного розчину на звичайних портландцементях. Наявність водопритоків негативно позначається на стійкості порід, що вміщують.

Для всіх літологічних різниць порід Західного Донбасу чітко виражена залежність міцних показників від вологості досліджуваних зразків. У водонасиченому стані породи розпадаються по площинах нашарування і знижують свої показники міцності в 4 і більше разів (втрачають до 80% міцності [1]). Зволоження порід після розтину їх виробками вологою шахтної атмосфери до 5-6% зменшує міцність на стиск для аргиллитів - в 2-3 рази, алевролітів - в 2 ... 2,5 рази, пісковиків - в 1,5 ... 2 рази [1]. При зануренні у воду аргіліти протягом короткого проміжку часу (зазвичай кілька годин) розшаровуються, розпадаючись на складові.

Дослідженнями Павлоградської КГРЕ встановлено, що при вологості 7-8% аргіліти, що залягають в покрівлі та ґрунті вугільних пластів, повністю втрачають міцність, перетворюючись в пластичну масу [2].

Потужність зони максимального зволоження порід за даними цих досліджень становить: з боку ґрунту пласта - 0,6 м, і з боку покрівлі - 0,35 м, в міру віддалення від водоносного вугільного пласта вологість порід зменшується, що супроводжується підвищенням показників міцності. Негативний вплив на показники міцності порід надає після розтину їх виробками шахтна атмосфера і її вологість.

Таким чином, вуглевидобувний регіон Західного Донбасу характеризується досить складними гірничо-геологічними і гірничотехнічними умовами відпрацювання вугільних пластів. При цьому специфіка і складність гірничо-геологічних і гідрогеологічних умов Західного Донбасу визначається:

- повсюдним поширенням в межах району слабких, легкообрушаючихся, тріщинуватих, швидко розмокає при наявності вологи порід, що вміщують, що призводить до різкої втрати міцності ґрунту, пученню, розшарування і обвалення порід покрівлі;

- яскраво вираженою тонкослоїстою текстурою масиву порід, наявністю слабого контакту між шарами (в окремих випадках відсутністю його), при середній потужності шарів порід - від декількох міліметрів до 10-15 см;

- наявністю геологічних порушень, характерною блокової структурою, розвиненістю субвертикальної тріщинуватості (тріщини «всихання»);

- наявністю в межах відкладень карбону водоносного горизонту, який має гідравлічну зв'язок з частиною вугільних пластів і шарами пісковиків;

- збільшенням вологості приконтурного шару вміщає масиву порід при впливі на нього шахтної атмосфери в часі, внаслідок чого значною втратою його міцності.

До основних ускладнює факторам, безпосередньо ускладнюють відпрацювання запасів є:

1. Дуже нестійкі породи безпосередньої покрівлі пласта, що проявляють ознаки «помилковою» покрівлі.
2. Локальні розмиви пласта.
3. Складна гіпсометрія пласта.
4. Низькі властивості міцності порід безпосередньої ґрунту, розмокає у воді зі значним зниженням міцності властивостей і несучої здатності.
5. Часта зміна літології порід покрівлі «аргиллит-піщаник».
6. Освіта значних зон непружних деформацій (підвищеної тріщинуватості техногенного походження) потужністю 8-10 м вздовж контурів підготовчих виробок.
7. Значна ймовірність вивалам на ділянках зміни літології.
8. Інтенсивно вирячені породи ґрунту (0,5-1,0 м).
9. На площах, де аргиллит має потужність до 2 м, в зв'язку з відсутністю зчеплення з вищерозміщених обводнених піщаником може руйнуватися на всю потужність.
10. Наявність тектонічних порушень з розвитком диз'юнктивного (в основному скидного типу з амплітудою: мелкоамплітудних - з амплітудою зміщення 0.02-12 м; середньо і крупно-амплітудна - з амплітудою зміщення до 350 м) і плікатівних (з амплітудою до 50 м) форм дислокації .

РОЗДІЛ 2.

ОЦІНКА СТАНУ довжини виробок ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

2.1. Фактори, що визначають стійкість капітальних гірничих виробок

Досвід розробки вугільних родовищ показує, що в зв'язку з погіршенням гірничо-геологічних умов і збільшенням протяжності підтримуваних гірських виробок, їх експлуатаційний стан протягом терміну служби в ряді випадків не можна забезпечити через відсутність достовірних даних про величину і ступеня впливу різних чинників, сукупний вплив яких змінюється в кожному конкретному випадку.

Навантаження на кріплення, обумовлена геостатичеських полем напружень, а також іншими впливають факторами, призводять до того, що вироблення іноді доводиться ремонтувати 2-3 рази і більше. Разом з тим, мають місце випадки, коли при проведенні гірничих виробок встановлюється кріплення з підвищеним запасом міцності, що призводить до зайвих витрат праці, до нерациональної витрати кріпильних матеріалів. Всі чинники, в більшій чи меншій мірі впливають на стан протяжної виробки і визначають її стійкість, можна розділити на наступні групи.

Основні гірничо-геологічні чинники:

- літологічний склад;
- потужність і фізико-механічні властивості порід безпосередньої і основний покрівель і ґрунту пласта;

- глибина розташування виробки від земної поверхні;
- потужність, кут падіння, текстура вугільного пласта, його фізико-механічні властивості;
- трещиноватість порід і вугільного пласта;
- тектонічні порушення;
- обводненість породи і вироблення.

Основні гірничотехнічні фактори:

- спосіб проведення виробки;
- розмір і форма перерізу виробки;
- несуча здатність, податливість і щільність кріплення;
- положення вироблення по відношенню до очисних робіт власного і зближених пластів;
- спосіб охорони вироблення, пов'язаний з системою розробки;
- термін служби вироблення.

Ступінь впливу перерахованих факторів на стійкість породних оголень різна. Також різний і рівень вивченості цього впливу. Остання обставина пов'язана з різною можливістю проведення спостережень в натурних умовах, постановки лабораторних експериментів, виконання аналітичних досліджень.

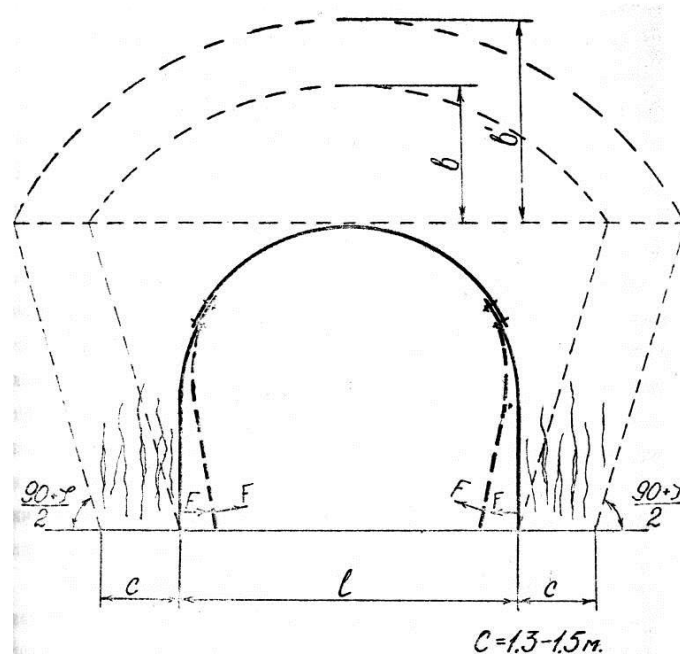
Дослідження, виконані в 520-му бортовому штреку ПСП «Шахта Тернівська», а також в 163-му бортовому штреку ПСП «Шахта Степова», дозволили отримати важливі дані, що стосуються особливостей деформування приконтурного масиву слабометаморфізованих порід в околиці виробок.

Вивченню особливостей прояву гірського тиску в умовах шахт Західного Донбасу присвячені роботи С.Н. Рєви [22], Б.М. Усаченко [23], В.І. Стиціна [24], В.В. Євтушенко [25], А.В. Шмиголя, В.Я. Кириченко [26] та ін. Усі дослідники відзначають специфіку гірничо-геологічних умов, обумовлену, в першу чергу, наявністю слабких порід в углепродуктивній товщі, їх порушеністю і ін.

Науковим колективом кафедри будівництва шахт і підземних споруд під керівництвом проф. Максимова А.П. в кінці 1960-х - початку 1970-х рр. було встановлено, що при слабких породах в боках виробки утворюються вертикальні

тріщини відколу, які поширюються вглиб масиву на 1.3-1,5 м. Зруйнована порода створює навантаження на стійки кріплення і, як показали вимірювання, при малих значеннях бічних навантажень на стійки останні вільно деформуються всередину вироблення.

На мал. 2.1 приведена схема освіти підвищених склепінь обвалення порід і значних згинальних моментів в замках кріплення при малих бічних навантаженнях, викликаних утворенням тріщин відколу.



Мал. 2.1. Схема освіти підвищених склепінь обвалення порід [26]

Так як тріщини відколу поширюються вглиб масиву на відстань c , то призми сповзання змістяться від контуру також на величину c , а проліт склепіння обвалення збільшиться на величину $2c$. При цьому відбудеться збільшення висоти склепіння обвалення на $\Delta h = v_1 - v$. Таким чином, навантаження на кріплення збільшується і, якщо несуча здатність кріплення буде недостатньою, то вона зруйнується.

Більш детальні дослідження характеру деформування породного масиву навколо виробок в умовах шахт Західного Донбасу були виконані М.А. Вигодіним з використанням глибинних і контурних реперів, а також динамометричних станцій [5]. Сукупний аналіз результатів виконаних досліджень дозволив виявити ряд особливостей руйнування приконтурного

масиву, викликаного проведенням вироблення і механізмом роботи арочної металевого кріплення:

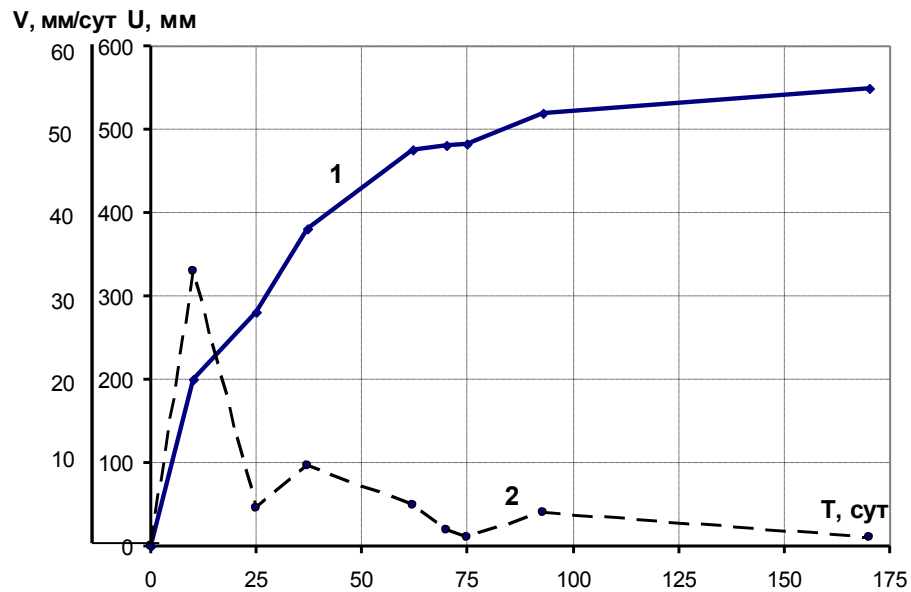
1. Зміщення породного контуру проявляються не відразу після установки постійного кріплення, а через деякий проміжок часу (t_{np}), який визначається, в першу чергу, стійкістю вміщає вироблення масиву порід і геометричними параметрами вироблення.

2. Розвиток зазначених зсувів має однаковий характер для всіх типів виробок, закладених в різних літотіпа порід, причому тенденція їх наростання аналогічна для зсувів ґрунт-покрівлю та боки, а кількісні показники різні. Аналіз показує, що при проведенні і підтримці виробок поза зоною впливу очисних робіт при зсувах як покрівлі, так і ґрунту або боків виробки можна виділити два характерних періоди: період інтенсивних і період сталих зсувів породного контуру. Дані змін показали, що тривалість інтенсивного періоду зсувів становить 20-50 діб.

3. Швидкості зсувів породного контуру в інтенсивному періоді формування зони порушених порід характеризуються великими величинами, стрибкоподібним і нерівномірними змінами. На графіках швидкостей простежується три-чотири стрибка («піку»). При цьому величини швидкостей в стрибку в міру збільшення періоду спостереження зменшуються, наближаючись до швидкості усталеного періоду зсувів (мал. 2.2).

4. Навантаження на арки фіксуються не відразу, а через деякий час після установки кріплення. Цей період часу визначається стійкістю навколишнього масиву порід і параметрами виробки начорно. Для аргиллитів і алевролітів цей проміжок часу становить від 2 до 15 діб, для пісковиків - 25 ... 30 діб і більше, для вугілля 10 ... 15 діб, в зонах тектонічних порушень - від декількох хвилин до 20 ... 24 годин.

5. Формування навантаження на кріплення виробок відбувається дискретно і визначається протікають у часі розшаруванням порід покрівлі, розчленуванням масиву бічних порід на вертикальні шари і видавлюванням порід ґрунту.



Мал. 2.2. Графік зсувів порід ґрунту (1) і швидкості зсувів (2) в часі експлуатації квершлягу №3 гор. 480 м шахти ім. Героїв космосу [27]

Деформації порід покрівлі проявляються у вигляді розшарування їх з втратою контакту деформованих порід з ґрунтом вищерозташованих більш стійких пластів, що призводить до утворення пустот і тріщин по висоті зони обвалення. Зростання висоти зони руйнування порід покрівлі (звід обвалення) носить дискретний у часі характер. Товщина шару одночасно обвалюються порід покрівлі визначається текстурними особливостями будови порід, шириною прольоту вироблення і часом оголення порід.

Так як величини зазорів між оголеними породами покрівлі і верхняками в момент установки кріплення різні, то передача навантажень від обвалених порід на кожен арку відбувається одночасно в міру заповнення цих зазорів. При заповненні мінімального зазору навантаження від деформованих порід покрівлі передається на один верхняк кріплення, після спрацювання вузла податливості кріплення навантаження передається на інший верхняк і т.д. З огляду на недосконалість вузлів податливості, а також мікрорівень процесів руйнування порід і особливості контактування їх з верхняками кріплення, можна зробити висновок, що кожна арка в певний момент деформування порід, що вміщують працює самостійно.

Конструктивна піддатливість кріплення, реалізуючись під впливом ваги расслоившихся порід, практично не припиняє і не зменшує процесу подальшого розшарування, а, навпаки, сприяє йому. Таким чином, говорити про будь-яке «відхід» піддатливих кріплень від гірського тиску в умовах тонкослоїстую масиву порід, що вміщують некоректно. У будь-який поточний момент часу навантаження на кріплення не нижче, а, навпаки, дорівнює або вище попередніх. В останньому випадку податливі кріплення переходять в жорсткий режим роботи.

При реалізації податливості кріплення відбувається перерозподіл місць додатку навантажень на арки, в результаті чого зосереджені навантаження з плином часу разом зі зміною структури завалених порід трансформуються в рівномірно розподілені. У цьому бачиться ефект від застосування піддатливих кріплень. Рами кріплення працюють спочатку в умовах «заданої» несиметричною зовнішнього навантаження, а в другому періоді в режимі «заданих» деформацій, характер зміни яких подібний в часі з графіком конвергенції.

У процесі спостереження зафіксовано, що навколо виробок, не схильних до впливу очисних робіт, формується кілька зон руйнування вміщає вироблення масиву порід, кожна з яких має ідентичний характер і відбувається з деяким розривом у часі.

Процес утворення зони руйнування представлений на мал. 2.3. Схема і механізм деформування можна описати таким чином. Деформація порід покрівлі реалізується як деформація затисненої з торців плити під впливом рівномірно розподіленого навантаження (в основному від власної ваги деформуваної товщі покрівлі). При деформаціях порід покрівлі вузли защемлення повертаються і зміщуються всередину вироблення, відриваючи по тріщинах всихання або іншим площинах ослаблення від масиву вертикальний шар бічних порід. Під впливом власної ваги і навантажень, викликаних деформаціями порід покрівлі, вертикальний шар деформується з відривом від навколишнього масиву гірських порід і втратою стійкості. При цьому відбувається прогин (випинання)

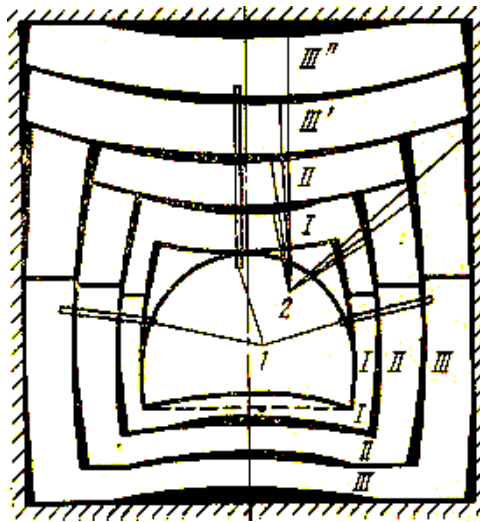
шару до масиву непорушених порід і зміщення його центру вниз. На контакті масиву непорушених порід з втратили стійкість вертикальними шарами і відбувається відсіч бічних порід. Під впливом деформованих вертикальних шарів, породи ґрунту видавлюються всередину вироблення, внаслідок чого відбувається пученіє порід ґрунту.

Найбільш небезпечні деформації гірських виробок і елементів постійних кріплень (порив кріпильних хомутів, розрив і крутіння верхняків і ніжок арок, руйнування залізобетонних затяжок, зближення боків виробки і видавлювання порід ґрунту), в основному, обумовлені роз'єднанням (розчленуванням) масиву бічних порід на вертикальні шари (мал. 2.4).

Площина розділу недеформованих і видавлених порід чітко простежується в виробках, в яких підводили зворотні склепіння або бурили контрольні розвідувальні свердловини, а також за наявністю води на цьому контакті. Вміщає вироблення масив порід в природному стані є водоупором і не містить навіть слідів незв'язаної води. Зафіксована в цих випадках вода є технологічною і проникає з ґрунту вироблення на контакт зон руйнування з непошкодженими породами по тріщинах в видавлених породах ґрунту. Наявність води на контакті розділу зон різко знижує міцність видавлених порід і сприяє утворенню площини ковзання, поверхня якої покрита глинистої пульпою з розклатися під впливом води порід ґрунту.

Спостереженнями встановлено, що в основному контакт зони видавлених (зруйнованих) порід ґрунту з масивом непорушених порід формується по площині нашарування, як найбільш слабкому місцю тонкослоїстую анизотропного масиву. У пісковиках і порівняно міцних аргиллитах (10% всіх спостережень) зафіксовано наявність непорушених порід на глибині 0,6 ... 1,0 м нижче проектної позначки ґрунту, не приурочених по всій ширині вироблення до площин нашарування.

У процесі дослідження стану що вміщає масиву порід були встановлені основні параметри зон руйнування.



Мал. 2.3. Схема деформування (руйнування) порід приконтурного шару і утворення зон руйнування: I, II, III - зони руйнування вміщує масиву; 1 - шпури для тампонажу зруйнованого масиву, 2 - порожнечі [28]



Мал. 2.4. Деформування приконтурних шарів порід. Заїзд в гараж-зарядну на гір. 160 м ш. «Благодатна» [5]

Зона порушених порід покрівлі поширюється до ґрунту вищерозташованих шарів стійких порід. Контакт між деформованими породами покрівлі і непошкодженими масивом відсутній. При випуску порушених порід покрівлі при перекріпленні, завалах і т.д. площину оголення непорушених порід покрівлі має плоский вигляд «під плиту». Максимальна висота пустот над замком зводу досягає 100 ... 150 мм. При розвідувальному бурінні по висоті порушених порід покрівлі зафіксовано кілька зон формування пустот.

Товщина вертикальних шарів першої зони порушених порід змінюється від 25 до 50 см, другої і третьої зон - 50 ... 75 см. Вертикальні шари контактують один з одним і масивом непорушених порід приблизно в середній по висоті частини шарів. Вертикальні зміщення шарів першої зони руйнування досягають 0,5 м, другий - 0,2 м, третій - кількох сантиметрів.

У зв'язку зі зміщенням шарів по вертикалі відносно один одного вони в точках дотику мнуть і контактування їх здійснюється по площинах висотою до 1,0 м. В іншій частині контакт між вертикальними шарами відсутня - вони відокремлені один від одного тріщинами зі змінною величиною розкриття: у верхній частині - 100 мм між першою і другою зонами руйнування, 50 мм - між другою і третьою зонами руйнування і 5 ... 10 мм між шаром третьої зони і масивом непорушених порід; в нижній частині - 25 мм між шарами першої і другої зон руйнування, 10 мм - між шарами другої і третьої зон, 2 ... 5 мм між шаром третьої зони порушення і масивом непорушених порід.

На завершальному етапі формування зон деформування порід (до часу підривання порід або перекріплення виробки) глибина поширення зруйнованих порід вглиб масиву досягає: в покрівлі виробки - 7 м і більше, в боках 3 ... 4 м, глибина видавлювання порід ґрунту, рахуючи від первісної (відразу ж після проходки) позначки ґрунту 1,5 ... 2,0 м.

Деформації порід вміщає вироблення масиву протікають з переміщеннями окремих шарів і структур відносно один одного. Це явище, в першу чергу, характерно для вертикальних шарів бічних порід.

Як впливає з вищенаведеного опису результатів спостережень за станом вміщує масиву порід, порожнечі кожної із зон зруйнованих порід роз'єднані один від одного в наступних місцях: в покрівлі виробки на контакті вертикальних шарів з порушеними породами покрівлі; в боках виробки в місцях контактування вертикальних шарів один з одним і масивом непорушених порід; в підшві виробки на контакті непорушених порід з вертикальними шарами деформованих бічних порід.

Наявність зон тріщинуватості, встановленої комплексом виконаних досліджень, підтверджується і безпосередніми спостереженнями в забоях виробок, що проводяться паралельно проведенням раніше на відстані 3 ... 4 м.

Так, в [26] отримані параметри зон тріщинуватості навколо магістрального штреку гір. 370 м. Шахти ім. Героїв космосу (мал. 2.5). Для розглянутих умов інструментальними (в діапазоні від 0 до 4 м від контуру виробки) і візуальними (в забої паралельної вироблення в діапазоні від 4 до 8,5 м) дослідженнями в боках виробки описані чотири зони порушених порід.

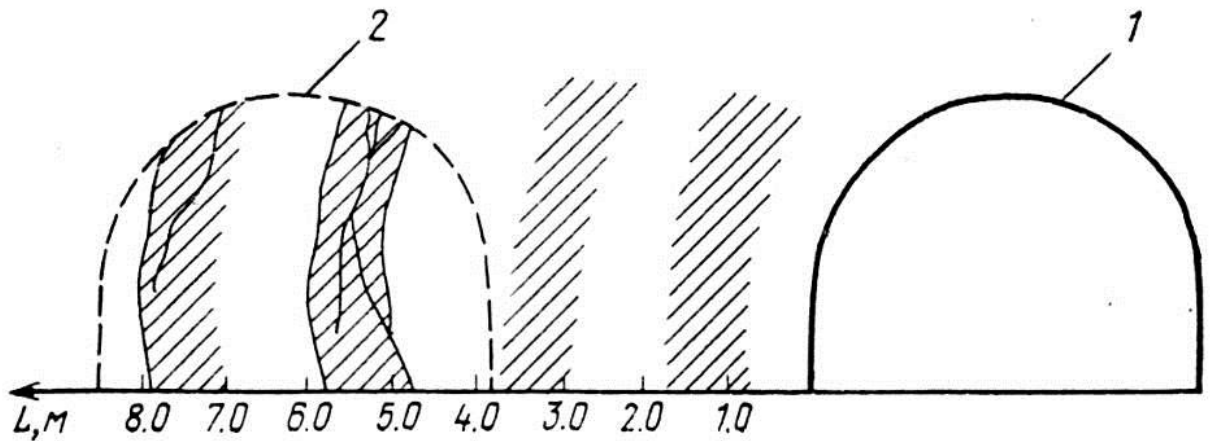
Ширина цих зон становить 0,5 ... 1,2 м. Зони зруйнованих порід розділені одна від одної зонами ненарушеного масиву шириною 1 ... 1,5 м. Межі найближчій першій зоні тріщинуватих порід знаходяться на відстані 0,8 ... 1,8 м, а найдалшої (четвертої) виявленої зони - на відстані 7 ... 8 м від контуру виробки.

Наявність дискретних зон тріщинуватих і непорушених порід зафіксовано на шахті «Степова» під час проведення 163-го бортового штрека впрісечку до 163-му збірному із залишенням між ними охоронного цілика шириною 3 м. У забої проводиться штреку були відзначені тріщини (мал. 2.6 і 2.7).

Тріщини, в основному, представляли собою одну магістральну відкриту тріщину, що перетинає породне оголення на всю висоту вироблення вище вугільного пласта. Нахил тріщини в сторону існуючої вироблення під кутом до 80 °, величина розкриття 5 ... 50 мм.

На ділянці до підходу лави, в забої досліджуваної вироблення фіксувалася лише одна магістральна тріщина (заколи), розташована з боку паралельної вироблення. Після зустрічі з лавою і проведенні виробки паралельно їй, кількість тріщин в забої збільшилася до 2 ... 5, розташованих приблизно на однакових відстанях один від одного.

Наявність відкритих магістральних тріщин викликає складнощі не тільки в частині підвищення стійкості приконтурного масиву, працездатності кріплення, але і в частині контролю та діагностики напружено-деформованого стану масиву порід, схильній до впливу очисних і гірничопрхідницьких робіт.



Мал. 2.5. Розподіл зон тріщинуватості порід навколо виробки:

1 - контур досліджуваного виробітку; 2 - забій штреку; суцільна лінія - тріщини, що виникли під впливом гірського тиску; заштриховані зони - зруйновані породи [5].



Мал. 2.6. Зони тріщинуватості в забої 163-го бортового штреку шахти «Степова»



Мал. 2.7. Магістральні тріщини в забої 163-го бортового штреку шахти «Степова»

Місце розташування і розміри зон деформованих порід необхідно враховувати при обґрунтуванні способів забезпечення стійкості виробки (застосування анкерів в боках виробки, тампонаж закріпного простору і приконтурного масиву порід) і визначенні обсягів тампонажного розчину для зміцнення порід.

2.2. Передумови до розрахунку кріплення капітальної гірничої виробки

Вироблення, розташоване на глибині H від земної поверхні, відчуває навантаження, зумовлені вагою, розташованих вище порід і впливом додаткових зовнішніх чинників, в т.ч. впливом очисних робіт, близько розташованих виробок і т.д.

На контурі виробки, розташованої на великій глибині спочатку виникають тільки стискають напруги, абсолютні значення перевищують межу міцності гірських порід на стиск, що призводить до їх руйнування і утворення навколо вироблення зони знижених напружень - ЗНД. Формування цієї зони відбувається протягом певного часу, супроводжується розпушення гірських порід в її межах

і, як наслідок, зміщенням їх в порожнину вироблення, що призводить, в кінцевому підсумку, до тиску на кріплення. Крім цього, сили власної ваги гірських порід, укладених в межах ЗНД, рівні твору об'ємної щільності на відповідний лінійний розмір вироблення, стають порівнянні з діючими напруженнями, що призводить до утворення склепіння обвалення. Таким чином, тиск на кріплення вироблення складається з двох складових: перша визначається переміщеннями масиву порід до центру вироблення і жорсткістю кріплення; друга складається вагою завалених порід.

В особливо складних геомеханічних умовах переважаючими зміщеннями контуру є зміщення (пученіє) ґрунту - U_p .

Параметри зони зруйнованих і деформованих порід навколо вироблення визначають необхідні шукані характеристики технології спорудження та підтримки вироблення - спосіб її проведення, технологія, форма вироблення, тип кріплення і її параметри.

Таким чином, основними параметрами до розрахунку кріплення капітальної гірничої виробки є наступні (мал. 2.8):

R_L - радіус зони непружних деформацій

R_{LT} - радіус зони підвищеної тріщинуватості

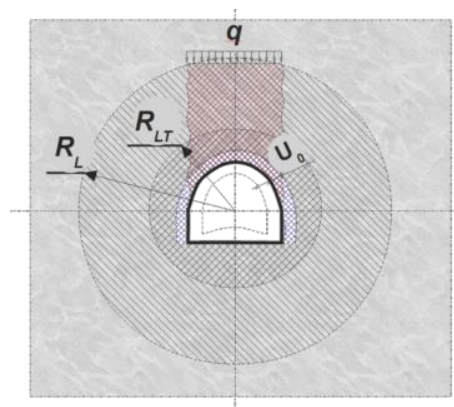
R_{LT} - критичний радіус зони непружних деформацій

U_0 - зміщення контуру виробки

U_p - зміщення ґрунту вироблення (пученіє)

q - навантаження на кріплення

- конструктивна жорсткість кріплення



Мал. 2.8. Схема формування навантаження на кріплення капітальної гірничої виробки

Одним з важливих питань в цьому напрямку досліджень є встановлення кордону ведення гірських робіт, коли виникають серйозні проблеми при будівництві та підтримці виробок. У технічній літературі часто використовують термін «велика глибина», тобто така глибина розташування виробок, нижче якої поведінка породного масиву істотно змінюється, а забезпечення експлуатаційного стану виробок вимагає проведення спеціальних заходів. Ця обставина призводить до значного збільшення витрат, пов'язаних з підтриманням і ремонтом виробок [28, 29].

Поняття «велика глибина розробки» або «глибока шахта» не має на увазі будь-якої конкретної глибини. В [29, 30] в якості визначального фактора для встановлення «великих глибин» розглядається рівень напруженого стану породного масиву. Відповідно до запропонованого розрахунковим критерієм, межа «великих глибин» для Донецького і Кизеловського вугільних басейнів становить 600 ... 800 м, для Кузнецького і Печорського - 400 ... 500 м, для осушених районів Мосбасса - 50 ... 60 м. Більш того, як вказується в цій же роботі, висновок про те, чи є дана глибина «великий», «середньої» або «малої», має виконуватися індивідуально для певної вироблення, що вміщують порід і конкретних умов експлуатації вироблення.

1. Ряд дослідників [14, 30, 31 та ін.] Рекомендують для визначення кордону «великих глибин» використовувати не конкретний показник (наприклад, глибина або витрати на підтримку), а будь-якої безрозмірний параметр або якісну характеристику стану породного масиву. Так, в [32] «велика глибина» характеризується виникненням зони пластичних деформацій, яка, в свою чергу, визначається поєднанням таких факторів, як глибина, міцність гірських порід, зміщення на контурі, реакція кріплення. Деформаційний процес, як критерій для віднесення виробок до категорії «глибоких», рекомендується приймати визначальним і в роботі [33].

Найбільш прийнятним і досить аргументованим для оцінки ступеня складності умов розробки, є емпіричний комплексний показник, запропонований Ю.З. Заславським:

$$K = \gamma H / R_c, (2.1)$$

де γ - об'ємна вага порід, H - глибина розробки, R_c - міцність породного масиву на одновісний.

Розглянутий критерій об'єднує в собі такі основні показники стану масиву порід, як його міцність і рівень напружень, що діють в ньому. По своїй фізичній суті параметр $\gamma H / R_c$ найбільш точно відображає стан породного масиву в конкретних геомеханічних умовах і впливає з рішення відповідних упругопластических завдань [18, 34, 35], дозволяє класифікувати породний масив за ступенем його стійкості.

Тому більш показовим є аналіз і співвіднесення якісних і кількісних характеристик деформаційних процесів у виробках з величиною $\gamma H / R_c$.

Далі в тексті, як і в розділі 1, буде використовуватися величина зворотна показнику Ю.З. Заславського - комплексний показник умов розробки $\theta = R_{kc} / \gamma H$, де міцність масиву приймається з урахуванням коефіцієнта структурного ослаблення - k_c .

Залежність деяких геомеханічних показників від θ за даними робіт [34-36], показує їх хорошу кореляцію (мал. 2.9), що цілком логічно.

Так, при однаковій міцності порід, зниження показника θ викликано збільшенням глибини гірничих робіт. Це призводить до значного зростання зон зруйнованих і деформованих порід навколо виробки - ЗНД (див. мал. 2.9, поз. 1), великим зсувів породного контуру, формуванню критичного навантаження на кріплення, деформацій останньої і викликає такі катастрофічні явища, як пученіє порід ґрунту (поз. 2) і вивалоутворень порід покрівлі (поз. 3).

Як було встановлено в [36], кордоном великих глибин розробки для виробок, розташованих поза зоною впливу очисних робіт, є величина комплексного показника умов розробки $\theta = 1,0$.

По всіх перерахованих вище причин дуже високі витрати на ремонт і підтримання виробок в експлуатаційному стані, величина яких збільшується з погіршенням геомеханічних умов, і в першу чергу - з ростом глибини (мал. 2.10) [18, 37].

РОЗДІЛ 3.

Імовірний ПОКАЗНИК СТІЙКОСТІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

Питання проектування кріплення з мінімальними витратами на підтримку займали важливе місце серед актуальних науково-технічних завдань і часто були предметом серйозних досліджень і обговорень [34, 35, 38-41 та ін.]. Ряд аспектів під час проектування підземних споруд розглядалося К.А. Ардашева [42]. У числі основних недоліків він вказує на низьку надійність і малий обсяг гірничо-геологічних відомостей про породному масиві; недостатню розробленість нових прогресивних способів проведення виробок, кріплень та ін. Поряд з цим, на його думку, необхідна зміна самої організації проектних робіт шляхом переходу до двостадійна проектування, що включає обов'язкове уточнення проектних рішень при будівництві, що забезпечить надійне робочий стан виробок з мінімальними витратами на їх проведення та кріплення в складних гірничо-геологічних умовах і на великих глибинах.

Мал. 2.9. Залежно геомеханічних і вартісних показників від показника умов розробки θ : 1 - розміри ЗНД; 2 - ймовірність здимання; 3 - частота вивалоутворення Мал 2.10. Залежність вартості підтримки 1 п.м. виробок $S_{рем} / Spr$ від показника $\theta = R_{скс} / \gamma H$ за даними роботи [18]

Питання правильної оцінки вартості будівництва виробок неодноразово піднімалося провідними фахівцями в галузі підтримання виробок К.В. Кошелева, Ю.А. Петренко [40] та ін. Зокрема, помилково, на їхню думку вважається проектування і будівництво виробок з урахуванням тільки початкових витрат, коли наступні витрати на її підтримку зазвичай не враховуються. Правильно говорити про зниження витрат на подальше підтримання вироблення в

експлуатаційному стані протягом всього періоду її використання або про досягнення їх найменших величин.

В роботі [43] вирішена задача оптимального проектування протяжних виробок з урахуванням витрат при спорудженні вироблення і її подальшому підтримці. Суть рішення полягає у визначенні таких параметрів кріплення виробки для конкретних гірничо-геологічних умов при яких співвідношення витрат капітальних - на спорудження вироблення і експлуатаційних - на наступний її ремонт в запланованих обсягах, є оптимальним.

Визначення оптимальних витрат на будівництво і експлуатацію виробок передбачає вибір систем кріплення і охорони, які відповідають конкретним умовам.

В якості вихідної моделі для визначення оптимальних витрат на підтримку вироблення може бути використана стохастична модель вироблення, описана в [44]. Основним параметром, що визначає стан вироблення в довільному перерізі, покладається відношення несучої спроможності кріплення до діючої навантаженні - коефіцієнт стійкості K_u . У кожен конкретний момент часу у виробленні по довжині можна виділити ділянки двох типів.

До першого типу відносяться такі, в межах яких K_u більше одиниці. Тут стійкість виробки на даний момент можна вважати забезпеченою.

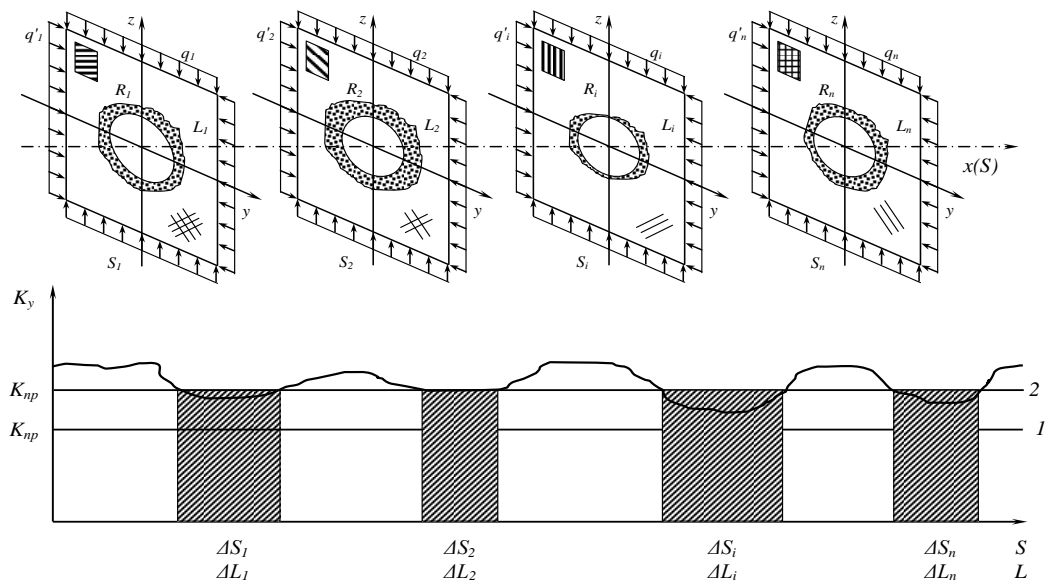
Другий тип - це ділянки, на яких діє навантаження перевищує гранично допустиму величину ($K_u < 1$).

Стійкість вироблення тут не забезпечується, в межах ділянки можуть мати місце руйнування кріплення та шляхового господарства різного ступеня. Розподіл коефіцієнта K_u по довжині виробки носить випадковий характер. Схематично залежність K_u від поздовжньої координати S представлена на мал. 2.11. Заштриховані ділянки відповідають значенням $K_u < 1$, вони вимагають виконання ремонтних робіт. Ставлення сумарної довжини не потребують ремонту ділянок до повної довжини виробки S - параметр, що характеризує в інтегральному сенсі стан вироблення в цілому:

$$\omega = \frac{\bar{S}}{S},$$

Величина ω змінюється в межах від 0 до 1. Вироблення має повну стійкість при $\omega = 1$ або повністю зруйнована при $\omega = 0$.

Тривала стійкість протяжної виробки залежить від безлічі факторів, кожен з яких в конкретних умовах експлуатації вносить певний внесок. Проте, в цілому ряді випадків можна оцінювати стан вироблення по якомусь одному, комплексному параметру.



Мал. 2.11. Стохастична модель протяжної горноздобування [41]

Таким комплексним, інтегральним показником, який характеризує вплив зовнішніх факторів на поведінку системи «вміщає масив-оголення-кріплення», може служити зміщення контуру виробки.

Як зазначається в [45, 46], абсолютна величина зсувів на контурі визначає параметри кріплення, навантаження і розвиток зони непружних деформацій. Крім того, інтенсивність зсувів контуру вказує на характер прояву гірського тиску в часі в залежності від різних факторів.

У міру розвитку деформаційних процесів навколо вироблення, що розвиваються зміщення призводять до деформацій кріплення. В силу того, що коефіцієнт стійкості уздовж виробки K_y носить випадковий характер, в певних перетинах вироблення його величина буде знижуватися, викликати руйнування елементів кріплення ($K_y < 1$) і виходу з ладу деяких ділянок вироблення.

В роботі [47] встановлено зв'язок між показником стійкості виробки і зсувами контуру виробки $\omega(T) = f(u)$, представлена на мал. 2.12.

Очевидно, що зміщення контуру виробки визначатимуть експлуатаційний стан кріплення і вироблення в цілому. Значні зсуви породного контуру приведуть до істотного зниження стійкості виробки і збільшення витрат на їх позичена. Якщо в проміжку часу T проводилися ремонтні роботи по бомба порід ґрунту на ділянці довжиною $S_{рем}(T)$, то довжина порушених ділянок вироблення буде визначатися за формулою:

$$S'_{наб} = \bar{S} + S_{рем}(T), \quad (2.2)$$

Тоді показник стійкості ремонтної вироблення на момент часу T дорівнюватиме :

$$\omega = \frac{\bar{S}_{наб}}{S} - \frac{\bar{S}_{рем}}{S}, \quad (2.3)$$

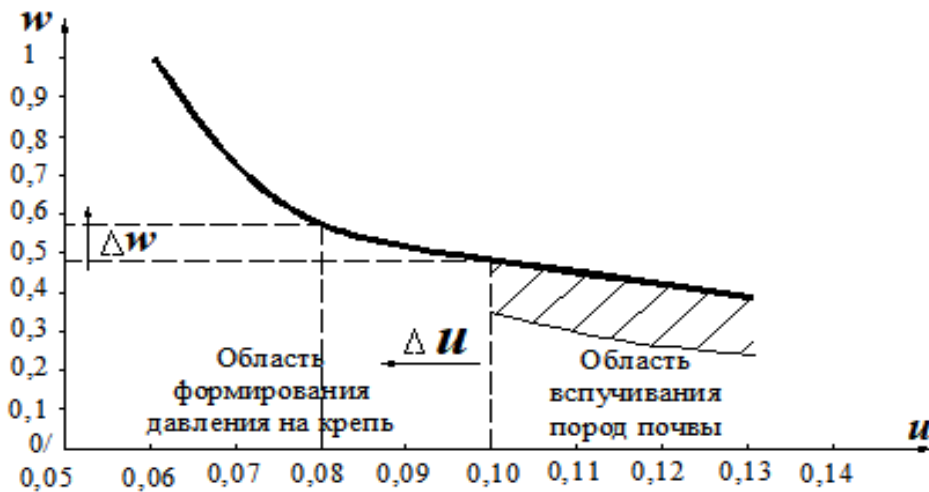
Величина ω змінюється в межах від 0 до 1. Вироблення стійка при $\omega = 1$ або повністю раз рушена при $\omega = 0$.

В роботі [48] показано зв'язок між обсягами ремонтно-підготовчих робіт, зсувами контуру виробки і показником стійкості виробок.

Тому підвищення стійкості виробок повинно бути засновано, головним чином, на застосуванні методів і засобів, спрямованих на зниження зсувів породного контуру і деформацій приконтурного масиву порід.

Слід зазначити, що формула 2.1 придатна в тому випадку, якщо роботи по ремонту кріплення виконувалися не більше одного разу. Якщо вони проводилися повторно і включали бомба порід ґрунту, то слід змінити методику оцінки стану гірничої виробки, як запропоновано в роботі [49].

При цьому, як впливає з мал. 2.12 процес оцінки стійкості протяжної виробки є більш складним і після того, як відносне зміщення контуру виробки перевищує $u = 0.1$, її стійкість в значній мірі визначається частотою та обсягами підривання.



Мал. 2.12. Залежність зміни показника стійкості виробки ω від зсувів контуру виробки u [47] і величини підривання [49]

Рішення проблеми забезпечення тривалої стійкості виробок підземних споруд можливо при обґрунтованому підході до управління деформаційними процесами в навколишньому виробленні масиві, вибором відповідних способів і ефективних заходів для конкретних геомеханічних умов і забезпеченні моніторингу стану системи «кріплення-навколишній масив» на основі адекватних геомеханічних моделей і критеріїв поведінки масиву порід.

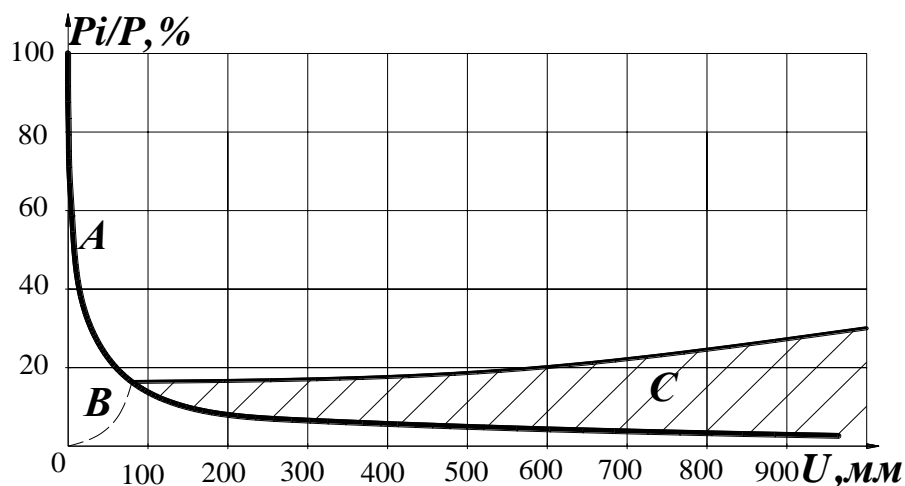
Основним способом забезпечення стійкості підземних об'єктів є установка несучої конструкції (кріплення) відповідної міцності і податливості, що забезпечує рівновагу геомеханічної системи.

Механізм управління станом масиву в околиці гірських виробок в умовах можливої втрати стійкості повинен бути пов'язаний з механізмом деформування приконтурної зони порід і заснований на попередженні руйнування контуру виробки, якщо цього можна досягти застосуванням несучих конструкцій (кріплень) з високою несучою здатністю, або ж зниження їх розпушення і зсувів за допомогою кріплень з високою несучою здатністю при обмеженою податливості.

Вибір такої несучої конструкції може бути здійснений на основі різних підходів. На мал. 2.13 показана залежність величини тиску на кріплення виробки від величини деформацій (зсувів) її контуру після оголення [50]. Більш того, породи піддаються пружним деформаціям (а в важких геомеханічних умовах -

руйнуються) ще перед забоєм. Для того щоб повністю виключити подібні деформації ($U = 0$), необхідно, щоб опір кріплення P повністю відповідало величині гірського тиску. Це означає, наприклад, що у виробленні на глибині $H = 1000$ м необхідно встановити кріплення несучою здатністю $25 \dots 26$ МН / м², що технічно і технологічно неможливо. Після певної пружною деформації буде потрібно значно менший опір кріплення P , що забезпечує рівновагу системи «кріплення-масив». Після деформації порід, що відповідає лише 3 мм, величина опору кріплення, необхідна для підтримки рівноваги буде дорівнює вже 55% величини гірського тиску, а при деформації, відповідної 60 мм - тільки 20% ($P = 5$ МН / м²). Якщо ж величина деформацій перевищить певний відповідний гірничо-геологічними умовами рівень (наприклад, 100 мм) то робоче опір кріплення, необхідне для забезпечення рівноваги, знову значно зросте через розшарування приконтурних порід.

Один з підходів в забезпеченні рівноважного стану системи «кріплення-навколишній масив» передбачає максимально швидке введення кріплення в роботу щодо попередження деформацій порід - до реалізації частини пружних і попередження пластичних деформацій. Такий підхід вимагає застосування жорстких кріплень. Для порід високої міцності і нетріщинуватих як такі застосовують набризкбетону, анкерні, в якості основної кріплення або в комбінації з набризкбетоном і металевою сіткою. Для порід менш міцних, для реалізації цього підходу потрібні досить потужні, жорсткі кріплення, що перешкоджають зсувів масиву (до величини декількох міліметрів).



Мал. 2.13. Залежність величини тиску на кріплення виробки від величини деформацій (зсувів) її контуру: А - характеристика породного масиву; Б - характеристика кріплення; З - розпушення приконтурного масиву [44]

Недолік такого підходу в тому, що область забезпечення сталого (збалансованого) стану що вміщає вироблення масиву визначається дуже малим діапазоном допустимих значень деформацій при високому рівні потенційної енергії геомеханічної системи «породний масив-кріплення-вироблення». Такий стан визначається як нестійка рівновага [51]. Незначні зміни параметрів факторів, що впливають можуть привести до неприпустимих значень деформацій і викликати втрату стійкого стану у вигляді важких або катастрофічних проявів гірського тиску.

Тому такий підхід прийнятний для підземних споруд, розташованих на невеликій глибині, в стійких породах (тунелі різного призначення, вироблення об'єктів, не пов'язаних з видобуванням корисних копалин, сховища і т.п.).

Комплекс виробок гірничодобувних підприємств часто розташовується в породах нестійких, тріщинуватих, схильних до впливу очисних робіт. Основною тенденцією розвитку гірничодобувної промисловості є постійне зростання глибини. Збільшення з глибиною напруженого стану породного масиву в околиці виробок призводить зростання потенційної енергії, що і є основною причиною появи великих деформацій породного контуру і підвищення інтенсивності протікання геомеханічних процесів, нерідко - у вигляді катастрофічних проявів.

Все це свідчить про те, що дані вироблення працюють в умовах напружень, близьких до граничних. У зв'язку з цим, для розглянутих виробок більш прийнятний другий підхід в забезпеченні їх стійкості - зниження рівня потенційної енергії навколишнього масиву за рахунок реалізації деформаційних процесів при контрольованому управлінні з боку засобів кріплення і охорони.

Недолік цього підходу - формування навколо виробки зони зруйнованих порід, тобто наявність великих деформацій приконтурного масиву. Однак позитивним фактором є те, що в цьому випадку діапазон допустимих значень

зсувів порід (деформацій масиву) досить великий, при значно менших значеннях ПДВ.

Такий стан системи є більш стійким і в умовах високої невизначеності впливають геологічних і техногенних факторів більш прийнятний для забезпечення безпеки гірничих робіт.

Концепція управління геомеханичними процесами навколо протяжних виробок в умовах великих зсувів контуру та формування значних зон непружних деформацій передбачає, в першу чергу, попередження катастрофічних проявів (вивали порід покрівлі, пученіє ґрунту) і важких наслідків (зниження стійкості виробки, великі витрати на ремонтні роботи і перекріплення) під час будівництва і тривалої експлуатації виробок.

Проблема забезпечення виробок в цих умовах полягає в тому, що навколо вироблення в короткий термін формується значна зона зруйнованих порід, відбуваються великі зміщення контуру виробки. При досягненні розмірів ЗНД критичної величини (або критичних зміщень контуру виробки) система «вироблення-кріплення-навколишній масив» втрачає стійкість. Найчастіше втрата стійкості відбувається у вигляді спучування порід ґрунту - як найменш міцного елемента вироблення.

Ідея концепції управління геомеханичними процесами полягає в обліку закономірностей протікання геомеханічних процесів і застосуванні на кожному етапі будівництва і експлуатації вироблення відповідних способів забезпечення стійкості, що допускають формування демпферного зони для розвантаження приконтурного масиву порід від підвищених напруг і запобігають розвитку зони зруйнованих порід і зміщення породного контуру, що призводять до втрати стійкості масиву.

Деформаційна модель описує поведінку масиву таким чином. Після проведення виробки під впливом підвищених напруг відбувається руйнування приконтурного масиву. При цьому утворюється область непружних деформацій таких розмірів, які забезпечують статичну рівновагу системи «масив-вироблення-кріплення». Ідеальним випадком є стабілізація геомеханічних

процесів при досягнутих розмірах ЗНД - rL_c і зсувах контуру виробки -ис (мал. 2.11). Закінчення цього етапу є оптимальним з точки зору управління станом геомеханічної системи «масив-вироблення-кріплення». Теоретично це можна здійснити, застосовуючи кріплення з регульованою несучою здатністю, що працює на протязі цього етапу в податливому режимі і переходить в жорсткий режим до моменту стабілізації геомеханічних процесів.

Практично це можна здійснити шляхом проведення в момент стабілізації деформаційних процесів заходів, які переводять роботу системи кріплення в жорсткий режим, наприклад, проведенням тампонажу закріпного простору і приконтурного масиву порід або встановленням додаткових анкерів.

Згідно [43], гранична глибина, з якої починається руйнування приконтурного породного масиву, визначається так:

$$H_{np} = \frac{R_c k_c}{2\gamma}, \quad (2.4)$$

що дає граничне значення показника умов розробки $\theta = R_c k_c / \gamma H = 2$.

З ростом глибини розташування виробок збільшується область зруйнованих порід в її околиці. Характерними проявами гірського тиску, саме для умов великих глибин розробки, обумовлені формуванням навколо виробок великих зон зруйнованих або деформованих порід і великими зсувами контуру виробок, є пученіє порід ґрунту і вивалоутворень порід покрівлі. При цьому в якості «великих зсувів» маються на увазі такі, які, призводять до втрати виробленням експлуатаційних функцій і необхідності виконання ремонтно-відновлювальних робіт (перекріплення, бомба ґрунту тощо). Таким чином, такі великі деформації (зміщення) контуру виробок можуть бути прийняті в якості критерію віднесення умов експлуатації до категорії «великих глибин».

Багатьма дослідниками, які займалися проблемами пученія порід ґрунту виробок приймалася допустима (критична) величина зсувів порід, що не призводить до тяжких наслідків (або небезпечна, що викликає певні проблеми і різке збільшення витрати на підтримку). Ю.З. Заславський, І.Л. Черняк, Г.П. Шестаков і ряд інших дослідників [45, 52-54 та ін.] В якості такої критичної

величини брали підняття ґрунту на $U^* = 200 \dots 300$ мм, що по відношенню до радіусу вироблення буде чисельно дорівнює $u^* = U^* / R_0 = 0,1$.

Для критичної величини зсувів контуру виробки $u^* = 0,1$, при $y = 0,12$; $\text{кост} = 0$, комплексний показник умов розробки $\theta = 1,0$, що можна вважати критерієм віднесення ділянки вироблення до категорії «великих глибин розробки» (мал. 2.14).

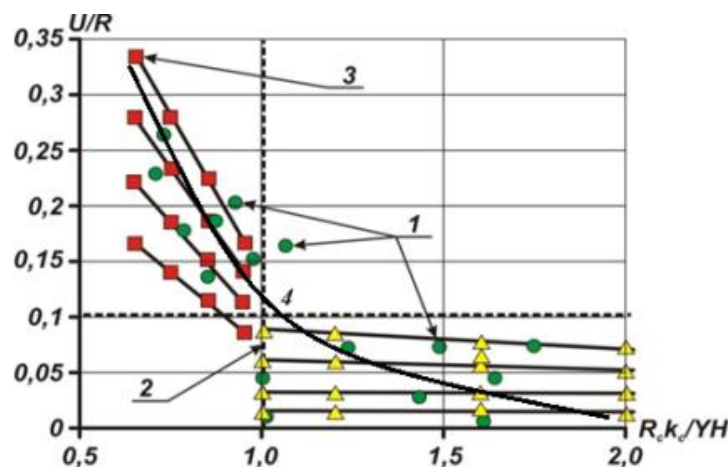
Кордоном, що розділяє область стійких і нестійких породних оголень, є значення показника умов розробки $\theta = 1$. Величина зсувів контуру виробки, що розділяє ці області дорівнює $i^* = 0,1$ - прийнята в якості критерію упругопластической стійкості приконтурного масиву.

Таким чином, в якості критерію, що визначає межу великих глибин розробки для виробок, розташованих поза зоною впливу очисних робіт, може бути прийнято відносне зміщення контуру виробки, чисельно рівне $i^* = 0,1$, що відповідає комплексному показнику умов розробки $\theta = R_{\text{ккс}} / \gamma H = 1,0$, що дозволяє класифікувати умови проведення і підтримки виробок на категорії:

$\theta > 1$ - сприятливі умови проведення і підтримки виробок, невеликі зсуви контуру виробки, низькі витрати на ремонтні роботи;

$\theta < 1$ - несприятливі умови проведення і підтримки виробок, великі зсуви контуру виробки, пученіє, вивалоутворень, високі витрати на ремонтні роботи;

$u = 0,1$ - критична величина зсувів контуру виробки, яка веде до неконтрольованого пученію порід ґрунту.



Мал. 2.14. Порівняння результатів шахтних вимірювань і розрахункових величин зсувів порід: 1 - дані шахтних вимірювань; 2 - залежно для «малих» зсувів

контур при $\theta > 1,0$; 3 - залежно для «великих» зсувів контур при $\theta < 1,0$; 4 - апроксимуюча крива [47]

Графік, наведений на мал. 2.14 можна апроксимувати наступною залежністю:

$$\frac{U_0}{R} = \frac{R_c k_c}{\gamma H} = \theta \quad (2.5)$$

РОЗДІЛ 4. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ КАПІТАЛЬНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

4.1. Алгоритм визначення напружено-деформованого стану породного масиву методом кінцевих елементів

При вирішенні завдань механіки, в тому числі механіки гірських порід, одним з досить простих і універсальних є метод скінченних елементів (МСЕ) [55-63]. До його переваг можна віднести можливість використання різних типів і видів елементів, що дозволяє досить гнучко регулювати умови розв'язуваної задачі і враховувати значне число входять параметрів. Що стосується завданням геомеханіки вказаний метод їх вирішення дає можливість найбільш природним чином врахувати структурні особливості породного масиву, такі як неоднорідність властивостей, тріщинуватість, шаруватість і інші. Також до достоїнств МСЕ можна віднести і достатню гнучкість застосовуються в розрахункових програмах алгоритмів його реалізації і значну розвиненість математичного апарату МСЕ, що дозволяє використовувати його і для

мультифізических завдань, і завдань з різного роду нелінійностями (геометричними і фізичними).

МСЕ застосовується при вирішенні геомеханічних задач в плоскій постановці, так і при вирішенні тривимірних задач [64-70]. Метод дозволяє розглядати напруги і переміщення в неоднорідних середовищах, дослідити, наприклад, взаємодію кріплення з навколишнім породним масивом, враховуючи при цьому реальну форму досліджуваної області і деформаційні показники кріплення і масиву. Породний масив, що вміщає закріплену або незакріплену вироблення, в свою чергу може мати ділянки з різною жорсткістю, пов'язані з особливостями його структури, і неоднорідності складу гірських порід. Для того щоб повною мірою врахувати неоднорідність породного масиву, параметрам кожного елемента або групи елементів можна привласнювати різні значення, в тому числі випадкові, які можуть бути згенеровані відповідно до визначеного законом розподілу.

Досліджувана геомеханіческая система проставляється сукупністю частин, які називаються кінцевими елементами. Ці елементи з'єднані один з одним в окремих точках, званих вузлами. Один і той же вузол належить кільком суміжним кінцевим елементам. Таким чином, зміна стану одного кінцевого елемента через вузли передається на суміжні елементи, впливаючи вже на їх стан.

Рішення задач механіки методом кінцевих елементів засноване на застосуванні наближених методів обчислень, методів матричної і лінійної алгебри. Структура досліджуваної області представляється кінцевими елементами, що мають досить просту форму, для якої напружено-деформований стан є вивченим і може бути виражено алгебраїчними співвідношеннями між компонентами сил і компонентами переміщень через жорсткісні коефіцієнти. Ці співвідношення названі співвідношеннями жорсткості. Оскільки кожен кінцевий елемент має декілька вузлів, зазначені співвідношення жорсткості є фактично сукупністю співвідношень, тобто системою рівнянь. Обмежуючись системами з

малими деформаціями з матеріалів, що підкоряються закону Гука, одержимо лінійну систему рівнянь, яка може бути записана в матричній формі:

$$[K_e]\{q_e\} = \{F_e\}, \quad (3.1)$$

де - матриця жорсткості з постійними коефіцієнтами, залежними от матеріала і від форми елемента; - вектор, складові якого є вузловими переміщеннями елемента; - вектор, складові якого є вузловими силами.

При вирішенні завдань по МСЕ можна виділити такі основні етапи:

- побудова функціоналу;
- розчленовування системи на кінцеві елементи, для кожного з яких ставиться у відповідність їх фізико-механічні характеристики;
- вибір координатних функцій;
- побудова матриць жорсткості;
- приведення місцевої навантаження для кожного кінцевого елемента;
- побудова канонічних рівнянь і їх рішення;
- визначення напружено-деформованого стану.

Стосовно до вирішення завдання про протяжної гірничій виробці, досліджувана область являє собою перетин вироблення, перпендикулярний її поздовжньої осі, яка розбивається на плоскі трикутні або чотирикутні елементи одиничної товщини, що взаємодіють між собою через дотичні точки - вузли. У межах кожного кінцевого елемента масив передбачається однорідним і пружним. Всі види навантажень, що діють на досліджувану область і формують в ній певне напружено-деформований стан, наводяться до статично еквівалентним силам, прикладеним в вузлових точках. На зовнішньому контурі даній області масиву і на контурі виробки задаються поверхневі сили, які в разі відсутності поверхневих навантажень дорівнюють нулю, а переміщення вузлових точок контуру невідомі.

Введена в розрахункову схему вихідна інформація складається з наступних параметрів: число кінцевих елементів, на які розбивається досліджувана область; загальне число вузлів, що утворюються при цьому розбитті, і координати цих вузлів; число типів елементів з різними фізико-механічними властивостями;

значення фізико-механічних властивостей для кожної групи елементів, значення напруг і переміщень, що характеризують граничні умови. Важливим є також доведений в роботах [65, 71-73] факт про істотний вплив на результат розрахунку співвідношення між твердостями шарів. Тому при вирішенні геомеханічних задач для Вуглевмісні товщі необхідно використовувати моделі трансверсально-ізотропного середовища, що імітують природну горизонтальну шаруватість породного масиву.

4.2. Оцінка впливу коефіцієнта бічного розпору на напружено-деформований стан приконтурного породного масиву в околиці одиночної гірничої виробки

Стосовно до гірничо-геологічними і гірничотехнічних умов ПСП «Шахта Степова » та ПСП« Шахта ім. Героїв космосу »ПАТ« ДТЕК Павлоградвугілля»розглядалася область породного масиву, що включає одиночну вироблення. Гірські породи моделювалися як шарувата среда, яка припускає непружні деформації. Фізико-механічні властивості порід для умов шахт «Степова» та ім. Героїв космосу представлені в табл. 3.1 і табл. 3.2.

Таблиця 3.1

Фізико-механічні властивості порід і вугілля для умов ПСП «Шахта» Степова »

Порода	Модуль Юнга, МПа	Коеф. Пуасона	Міцність породного зразка на стиснення, Мпа	Коефіцієнт структурного послаблення	Міцність на стиснення з врахуванням коефіцієнта структурного послаблення, МПа
Аргіліт	3193,0	0,3	32	0,5	16
Алевроліт	2981,7	0,3	43	0,5	21,5
Вугілля	11755,2	0,3	37,5	0,4	15

Відповідно до рекомендацій [74], значення N має бути збільшено в зв'язку з наявністю ускладнюючих факторів, обумовлених структурної і текстурної неоднорідністю [34] на мікро- і макрорівнях, що проявляються, зокрема, як трещиноватість [75-78], а міцність порід на одновісний визначена з урахуванням коефіцієнта структурного ослаблення в залежності від характеристик природного трещиноватості порід.

Рішення завдання виконано за допомогою програмного комплексу «Phase 2».

Таблиця 3.2

Фізико-механічні властивості порід в умовах
ПСП «Шахта ім. Героїв космосу »

Порода	Модуль Юнга, МПа	Коеф. Пуассона	Міцність породного зразка на стиснення, Мпа	Коефіцієнт структурного послаблення	Міцність на стиснення з врахуванням коефіцієнта структурного послаблення, Мпа
Аргіліт	9000,5	0,36	14	0,5	7
Алевроліт	2979,7	0,3	24	0,5	12
Піщаник	10014,3	0,3	60	0,5	30
Вугілля	3501,9	0,25	30	0,5	15

Одним з чинників, що впливає на параметри геомеханічного стану в околиці вироблення, є коефіцієнт бічного розпору λ . Існує багато припущень про його величину, основні з яких розглянуті в роботі [78]. Найбільш ранній з них було висловлено А.Н. Динником, який запропонував визначати цю величину за формулою:

$$\lambda = \frac{\mu}{1 - \mu},$$

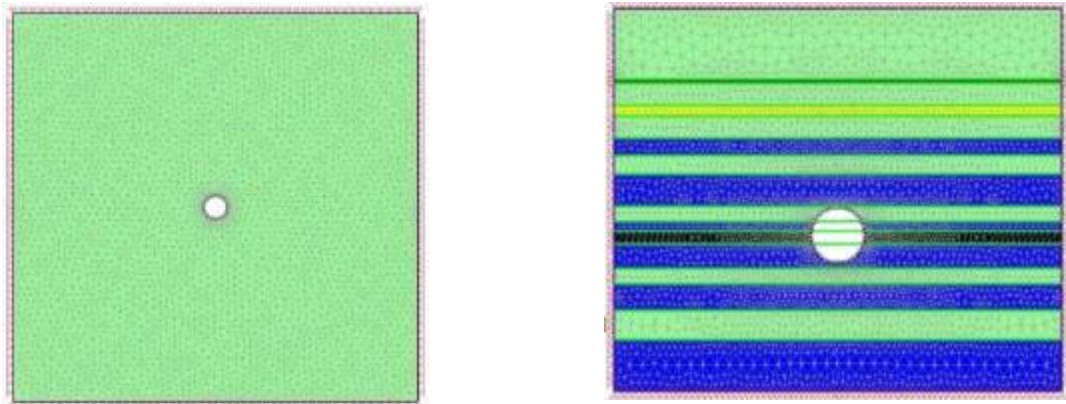
де μ - коефіцієнт Пуассона.

Вважається, що для горизонтальнозалегаючих родовищ при м'яких породах величина його з достатнім обґрунтуванням може бути прийнята, відповідно до

гіпотези Гейма, що дорівнює одиниці [79]. Пізніші дослідження показали, що ця величина може змінюватися в деяких межах, а в передгір'ях і у країв літосферних плит її значення може бути істотно більше одиниці. З огляду на важливість зазначеного параметра для оцінки напружено-деформованого стану породного масиву в околиці гірничої виробки, видається цікавим розглянути вплив величини коефіцієнта бічного розпору на величину ЗНД і зміщення контуру виробки в умовах, характерних для Західного Донбасу.

Розглянемо вплив величини коефіцієнта λ для випадку круглої виробки. Прийемо для розгляду наступний діапазон значень $\lambda = 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.25; 2.0$. Вміщає масив - однорідний і неоднорідний (шаруватий). Властивості гірських порід задавалися еквівалентними умовам шахти «Степова» (табл. 3.1), оскільки в даній товщі відсутня піщаник, істотно відрізняється по міцності від інших порід.

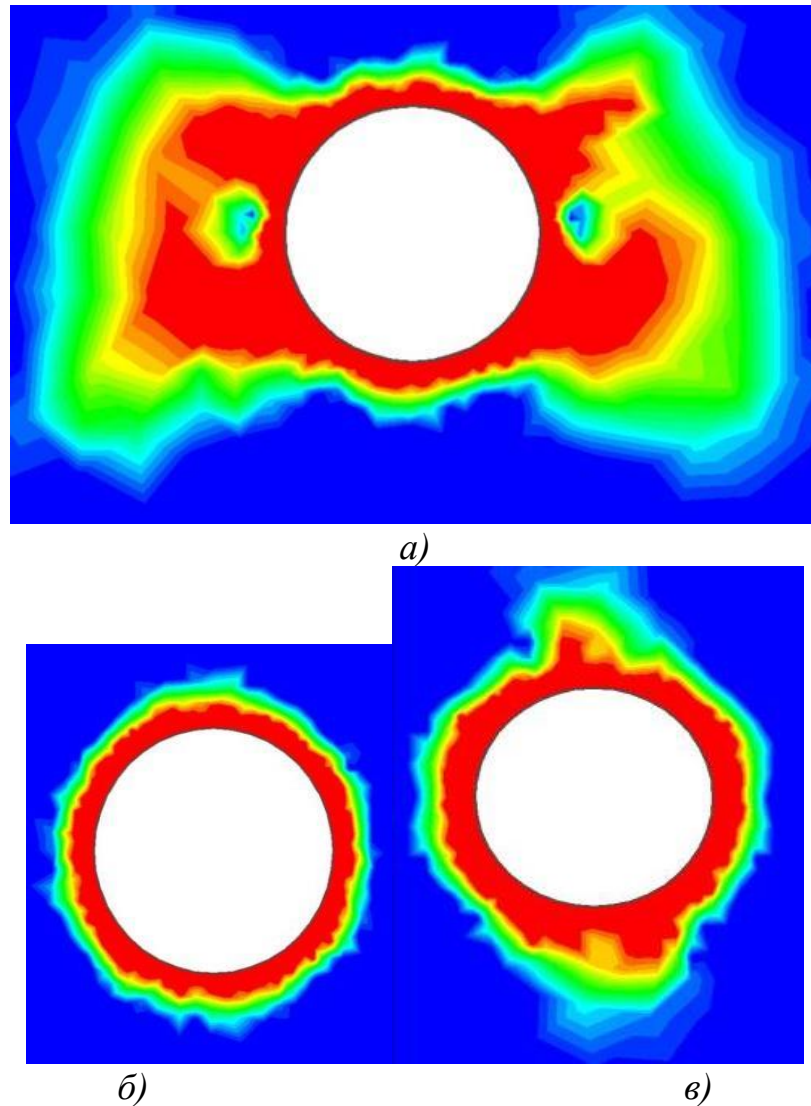
Розрахункові схеми для однорідного та неоднорідного породного масиву відповідно представлені на мал. 3.1, 3.2.



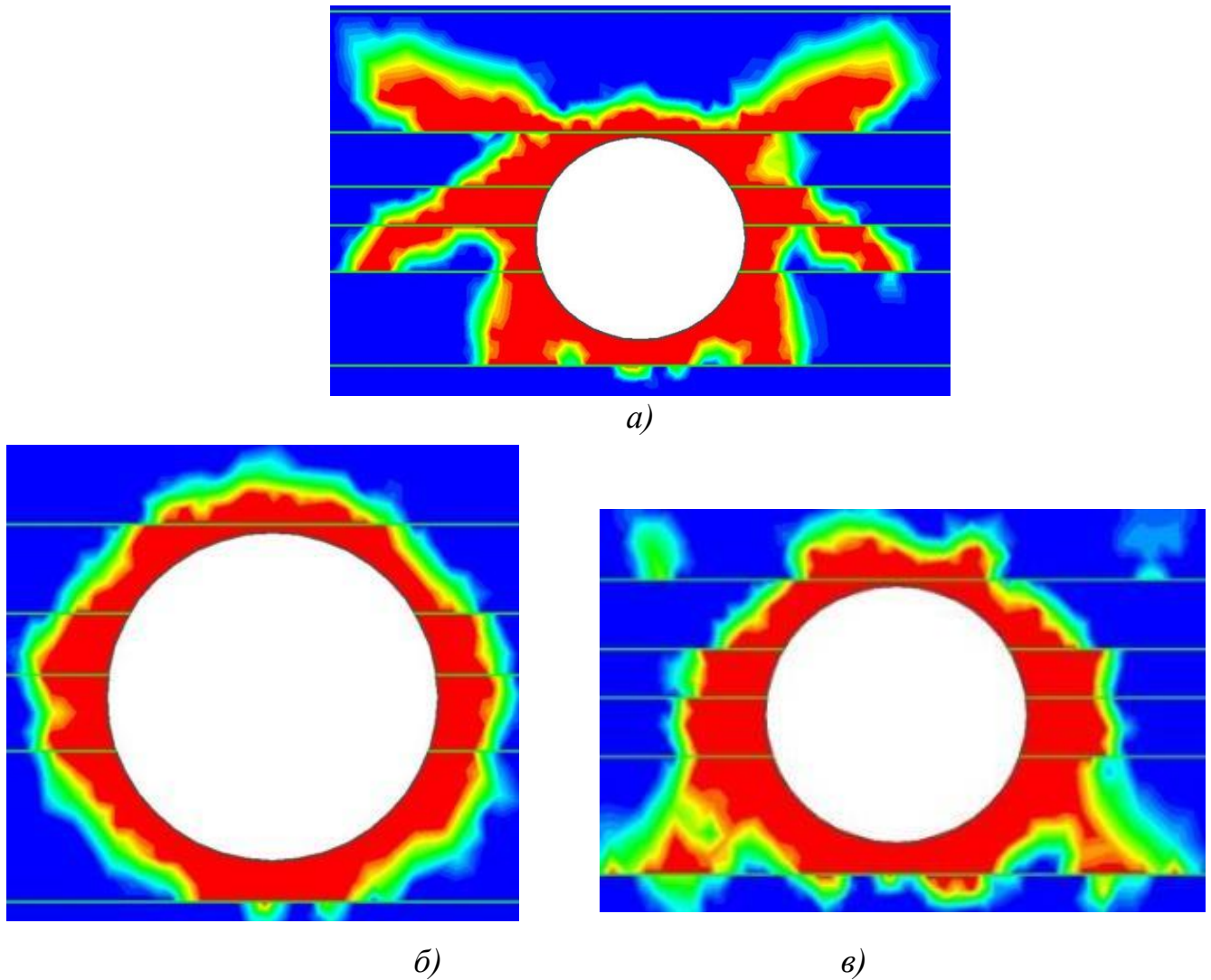
Мал 3.1. Загальний вигляд розрахункової моделі для однорідного породного масиву Мал 3.2. Загальний вигляд розрахункової моделі для неоднорідного (шаруватого) породного масиву

Аналіз представлених на мал. 3.3 і 3.4 результатів показує, що конфігурація зони непружних деформацій, що охоплює вироблення, спотворюється зі зміною величини коефіцієнта λ , приймаючи форму від витягнутої уздовж горизонтальної осі при $\lambda = 0,25$ до витягнутої по вертикалі при $\lambda = 2,0$. При цьому наявність шаруватості в моделі якісно не змінює результат - форма для однакових значень λ в цілому залишається подібною до результатів для

однорідного масиву. Разом з тим, заміна шаруватого середовища на усереднену однорідну при відміні міцності і деформаційних характеристик шарів в 1.5-2 рази призводить до помилки при оцінці ПДВ в околиці вироблення, що становить 25-30%, ніж підтверджується необхідність використання в подальших дослідженнях шаруватих моделей.



Мал 3.3. Конфігурація зони непружних деформацій в залежності від величини коефіцієнта бічного розпору (однорідне середовище): а- $\lambda = 0,25$; б - $\lambda = 1,0$; в- $\lambda = 2,0$

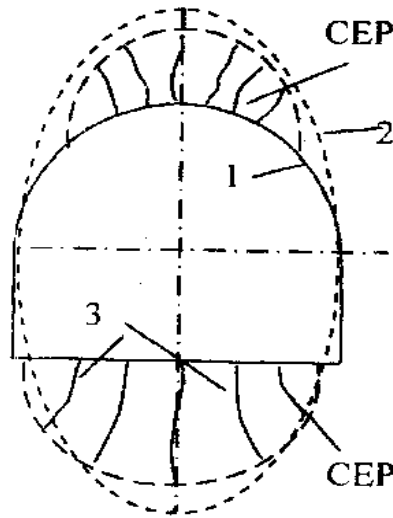


Мал 3.4. Конфігурація зони непружних деформацій в залежності від величини коефіцієнта бічного розпору (шарувата середа): а- $\lambda = 0,25$; б - $\lambda = 1,0$; в- $\lambda = 2,0$

На думку багатьох фахівців, важливу роль при забезпеченні стійкості виробок грає їх форма. У конкретних гірничо-геологічних умовах вироблення повинна мати оптимальну форму. Під оптимальною формою вироблення розуміють таку її форму, при якій досягається рівномірна концентрація напружень на її породному контурі.

При невеликій глибині розробки і досить високої міцності порід контур вироблення зберігає стійкість. Такі умови прийнято називати «малою глибиною розробки», яка характеризується сприятливими умовами підтримки виробок. Висока концентрація напружень, яка може виникати в кутах вироблення, покрівлі (грунті) призводить до формування зони зруйнованих порід. При цьому

концентрація напружень знижується, руйнування зупиняється, а остаточний контур зруйнованих порід набуває стійку форму у вигляді зводу природної рівноваги (мал. 3.5).



Мал 3.5. Схема формування зон зруйнованих порід від напруг, що розтягують [80]: 1 - контур вироблення, 2 - оптимальна форма вироблення, 3 - зона зруйнованих порід в ґрунті, СЕР - звід природної рівноваги

Якщо вироблення відповідним чином закріплено, то на її кріплення чинять тиск породи, укладені в зведенні природної рівноваги (СЕР). Кріплення працює в режимі заданих навантажень, що не залежать від деформаційних показників кріплення (від піддатливості). Тому при зведенні природної рівноваги (СЕР) можна використовувати кріплення найрізноманітніших конструкцій і режимів роботи - навантаження на них з боку СЕР будуть однакові.

У міру переходу гірничих робіт на великі глибини, положення істотно змінилося - стійкість більшості виробок стала катастрофічно низькою, а витрати на ремонтні роботи, в тому числі перекріплення, бомба спучених порід - надмірними.

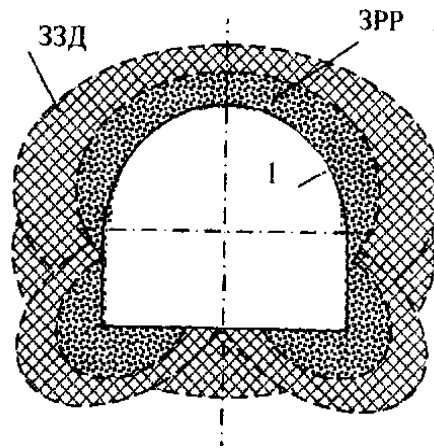
Зі збільшенням глибини розробки і підвищенням рівня напружень в приконтурній масиві, породи навколо вироблення руйнуються від стискаючих напруг. Стійкість вироблення істотно знижується, тому вироблення без особливих заходів з його охорони втрачає стійкість, а при наявності кріплення достатнього відсічі формується зона поза межних (непружних) деформацій (ЗЗД).

У зоні породного масиву, що безпосередньо прилягає до контуру виробки, виникає зона руйнування (ЗРР), безпосередньо взаємодіє з кріпленням (мал. 3.6). Навантаження на неї тут істотно залежить від часу і умов її зведення, а також деформаційно-силових характеристик конструкції.

Відомою характеристикою кріплення є «жорсткість конструкції» E_k , тобто ступінь зростання відсічі кріплення q на одиницю її податливості U (тобто зміщення в виробленні) у вигляді приватної похідної від базової деформаційно-силової характеристики кріплення $q = F(u)$:

$$E_k = \frac{\partial q}{\partial U} \approx \frac{\Delta q}{\Delta U}, \frac{kPa}{m}.$$

У ідеально піддатливих кріпленнь $E_k = 0$, у ідеально жорстких $E_k \rightarrow \infty$. Чим більше жорсткість конструкції кріплення E_k , тим вище навантаження q на неї з боку масиву, тим менше зміщення U порід всередину вироблення.



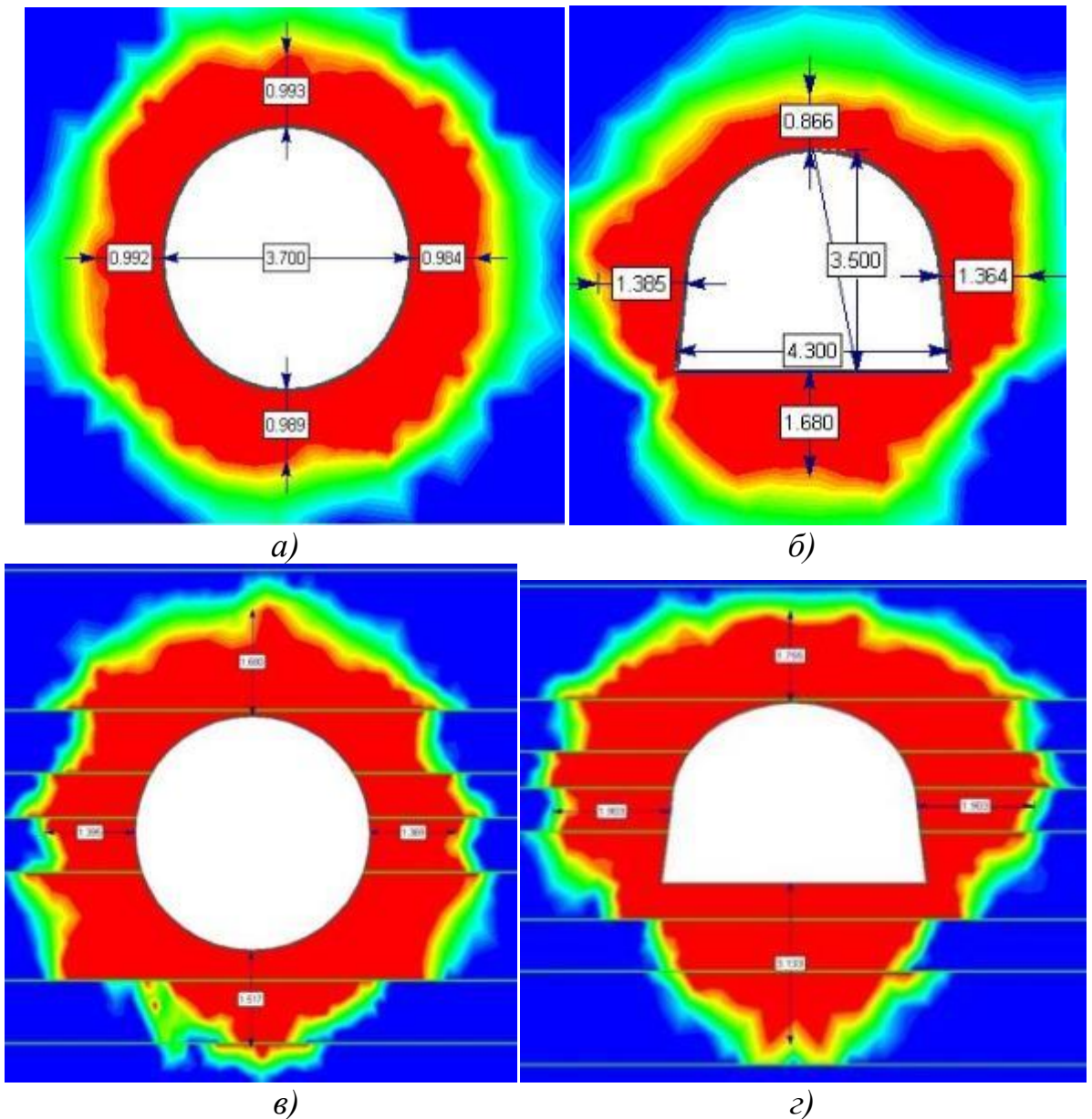
Мал 3.6. Схема формування зон зруйнованих порід від стискають напруг [80]: 1 - контур вироблення, ЗЗД - зона позамежних деформацій, ЗРР - зона руйнування

Форма вироблення i , відповідно, конструкція прийнятої кріплення істотно впливає на техніко-економічні показники споруди вироблення.

Розглянемо вплив форми гірничої виробки на розмір зони непружних деформацій, що визначає несучу здатність проектованої конструкції кріплення. Дослідження виконаємо із застосуванням чисельного моделювання з використанням обчислювальної програми «Phase2», що реалізує метод кінцевих елементів, на прикладі ПСП «Шахта Степова» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», умови розробки на якій можна віднести, як було показано вище, до категорії

особливо складних ($\theta \gg 0,6$). Фізико-механічні властивості порід в моделі задавалися відповідно до табл. 3.1. Розглянуті форми вироблення - коло, арка, трапеція, прямокутник. При побудові моделей з виробками, відмінними від круглої, співвідношення сторін фігур її контуру зберігалися порівнянними.

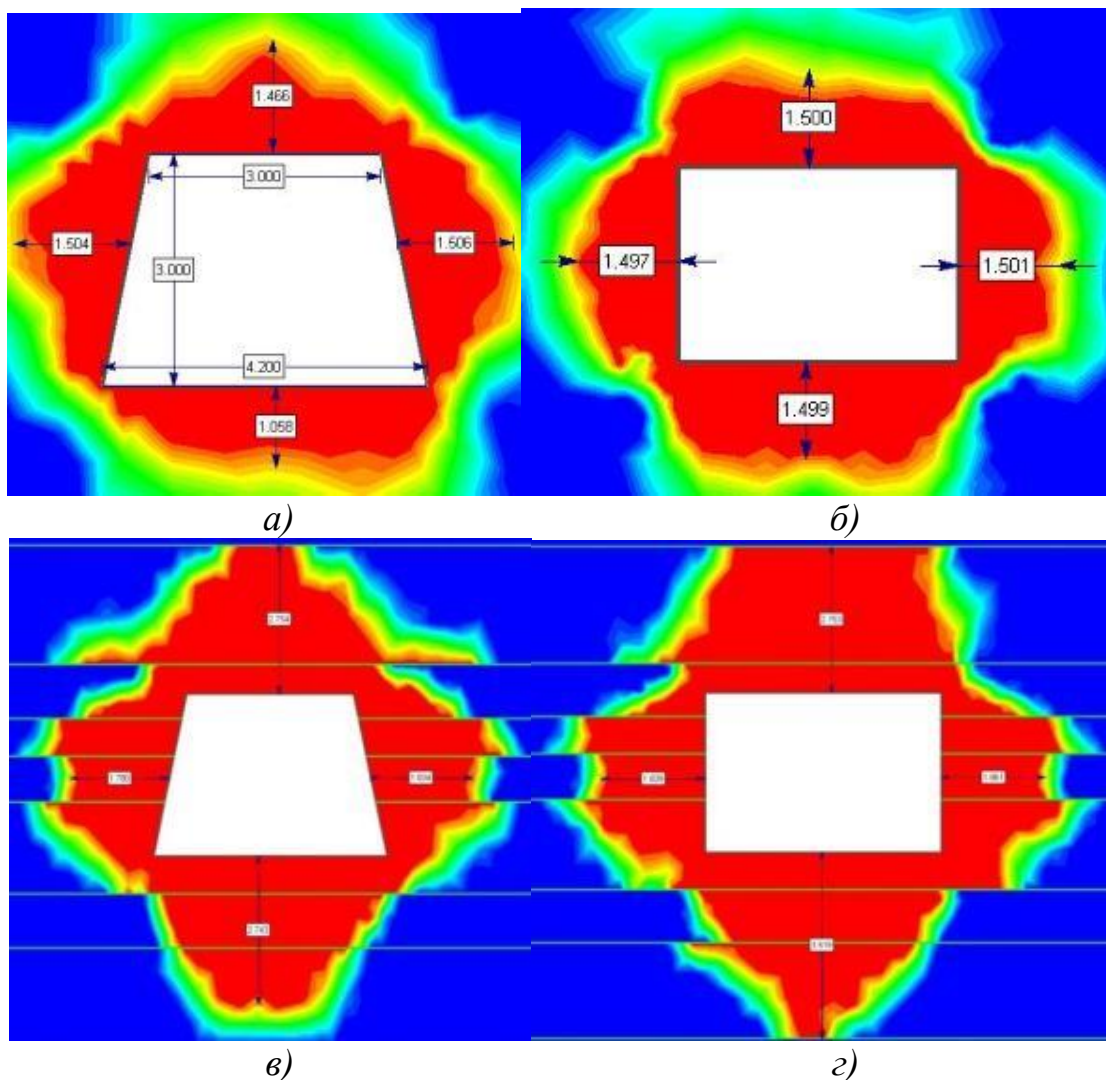
Результати виконаного комп'ютерного моделювання для виробок з різною формою поперечного перерізу наведені на мал. 3.7-3.8, де показано розподіл еквівалентних напружень в породному масиві в околиці виробок. Там же зазначені для розглянутих випадків і розміри зон непружних деформацій, кордони яких визначені відповідно до прийнятого для вирішення завдання критерієм міцності Хоека-Брауна [81-83]. В якості еталонного прийнято рішення для вироблення круглої форми.



Мал 3.7. Конфігурація ЗНД навколо виробок з різними формами поперечного перерізу ($\lambda = 1$): а, б - однорідний масив, в, г - шаруватий масив

Порівняння результатів, отриманих для виробок з різними формами поперечного перерізу показують (мал. 3.7-3.8), що при однаковій величині коефіцієнта бічного розпору розмір зон непружних деформацій незначно відрізняється від отриманого для круглого перерізу виробки.

Таким чином, в умовах «великих» глибин розробки, коли руйнування приконтурного масиву порід походить від стискають напруг, при постійній величині коефіцієнта бічного розпору розміри зони непружних деформацій практично не залежать від форми вироблення. Сукупний аналіз результатів чисельного дослідження впливу величини коефіцієнта бічного розпору на розмір і форму ЗНД навколо виробок різної форми, що знаходяться в однорідному і неоднорідному (шаруватому) масиві показує наступне.



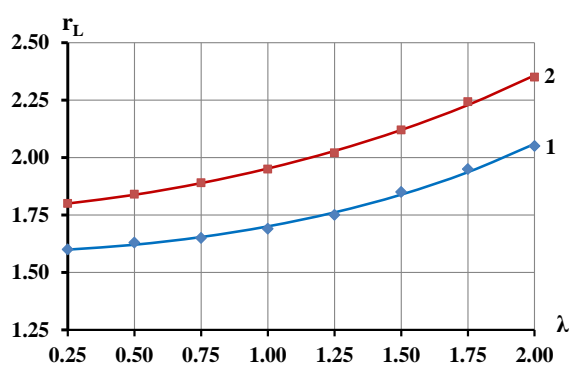
Мал 3.8. Конфігурація ЗНД навколо виробок з різними формами поперечного перерізу ($\lambda = 1$): а, б - однорідний масив, в, г - шаруватий масив

Конфігурація ЗНД навколо одиночної виробки, пройденої в однорідному і неоднорідному (шаруватому) масиві, істотно залежить від величини коефіцієнта бічного розпору (мал. 3.9). Представлені на мал. 3.9 залежно досить точно (коефіцієнт кореляції не менше 0,991) аппроксимируються функціями виду:

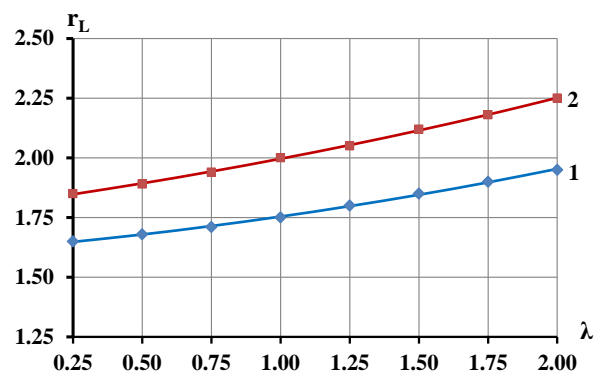
$$r_L = \frac{1}{a + b\lambda^c},$$

де а, б і с - коефіцієнти аппроксимації:

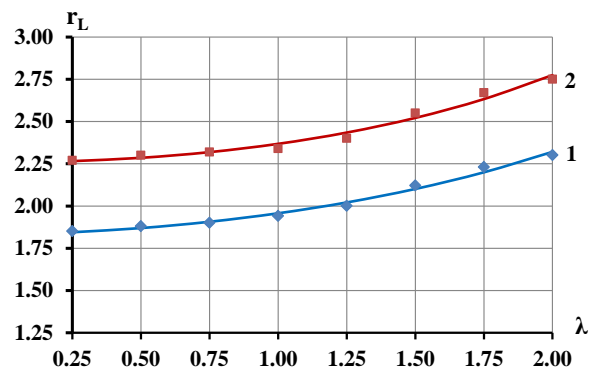
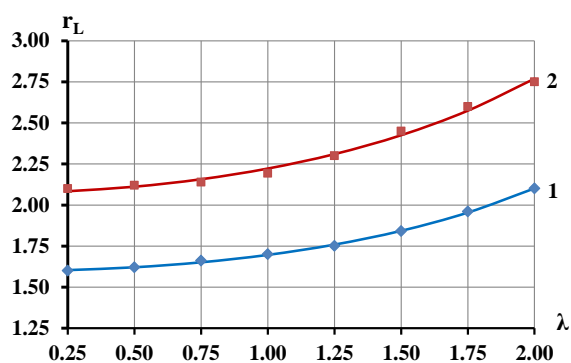
Форма виробітку	Однорідний масив			Шаруватий масив			коэф. кореляції
	а	В	С	а	В	с	
Кругла	0,63	-	1	0,56	-	1	0,999
Арочна	0,62	-	1	0,55	-	1	0,999
Трапеціє подібна	0,62	-	2	0,48	-	1	0,998
Прямокутна	0,55	-	1	0,44	-	2	0,991



а)



б)



в) г)

Мал 3.9. Залежність величини ЗНД в покрівлі від величини коефіцієнта бічного розпору при формі вироблення: а) круглої; б) арочної; в) трапецієподібної; д) прямокутної; 1) однорідний масив; 2) шаруватий

При зміні величини λ від 0.25 до 2.0 розмір ЗНД в покрівлі збільшується в 1.35 рази незалежно від форми вироблення за умови, що її розміри по горизонталі і вертикалі можна порівняти. При цьому наявність шарів порід різної міцності вносить істотні зміни в картину розподілу напружень.

З графіків мал. 3.9 видно, що зміна величини коефіцієнта бічного розпору в межах $0,75 \leq \lambda \leq 1,25$ практично не впливає на величину і конфігурацію зони непружних деформацій: в зазначеному діапазоні λ зміна величини не перевищує 6,1% для однорідного масиву і 7,5 % -для шаруватого масиву.

Одним з найбільш важливих показників, що характеризують стійкість виробки, є величина зсувів контуру. На мал. 3.10 показані залежності величини зміщень в покрівлі від коефіцієнта бічного розпору, які з коефіцієнтами кореляції 0,997 також можуть бути апроксимувати функцією виду

$$U_0 = \frac{1}{a + b\lambda^c},$$

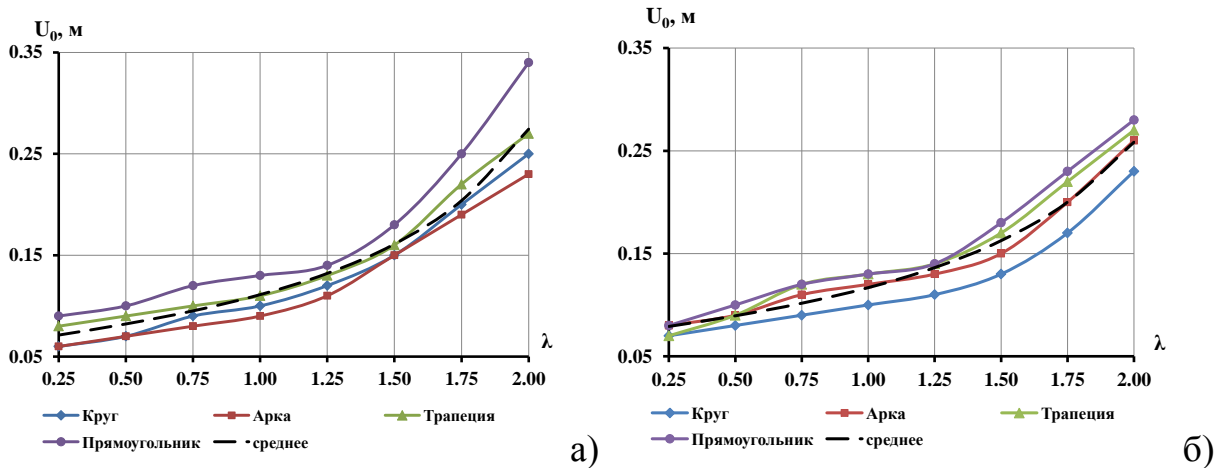
де a , b і c - коефіцієнти апроксимації:

	a	B	c
Однородний масив	16,7	-7,75	0,76
Шаруватий масив	14,5	-5,93	0,84

Аналіз зазначених графіків показує, що в залежності від величини λ зміщення з боку покрівлі зростають в 5-10 разів. Дана обставина вказує на те, що оцінці величини λ в задачах геомеханіки слід приділяти особливу увагу.

Сукупний аналіз наведених залежностей дозволяє стверджувати, що розміри і конфігурація зони непружних деформацій в одних і тих же гірничо-геологічних умовах перебувають у зворотній статичній залежності від величини коефіцієнта бічного розпору, при цьому в межах зміни цієї величини від 0.75 до

1.25 початкове поле напружень можна приймати гідростатичним.



Мал 3.10. Залежності зміщень в покрівлі виробки від величини коефіцієнта бічного розпору: а) однорідний масив; б) шаруватий масив

4.3. Дослідження параметрів геомеханічного стану навколо капітальних виробок на основі дискретної 3Д-моделі

Рішення різних інженерних задач при підземному видобутку вугілля передбачає попереднє дослідження і обґрунтування прийнятих рішень. Розгляд таких задач в аналітичній постановці передбачає використання відносно простих розрахункових схем. Їх ускладнення з метою врахування впливу очисних робіт, геологічної порушеності, інших технологічних факторів, наявності області зруйнованих порід навколо очисних або підготовчих виробок, структурних особливостей масиву порід різко ускладнює вирішення, використання простих аналітичних залежностей стає неможливим навіть в припущенні пружного деформування породного середовища.

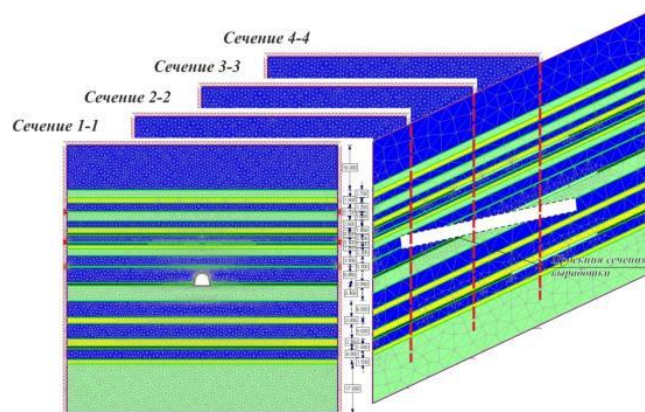
Типовим прикладом виробки, що проводиться в складних гірничо-геологічних умовах і зазнають вплив, як навколишнього зруйнованого масиву порід, так і вплив очисних робіт при досить складною тектонічної ситуації, є Північний конвеєрний ухил (СКУ) гір. 370 м ПСП «Шахта ім. Героїв Космосу».

Північний конвеєрний ухил є капітальною виробленням, що споруджується в різноманітних з точки зору геомеханіки гірничо-геологічних умовах. На його протязі можна виділити чотири характерні ділянки:

- I - область шаруватого ненарушеного масиву;
- II - область надробки гірничими роботами на вищележачому горизонті;
- III - область геологічного розривного руйнування і надробки;
- IV - область надробки і підробітку гірничими роботами відповідно на вищележачому і нижележащем горизонтах.

Досить точно рішення задачі оцінки стійкості такої вироблення при різних конструкціях кріплення і різних комбінаціях факторів, що впливають з урахуванням структурних особливостей і фізико-механічних властивостей порід можна отримати чисельними методами рішення.

На мал. 3.11 приведена дискретна 3D-геомеханіческая модель, що дозволяє оцінити напружено-деформований стан шаруватого породного масиву з техногенними та природними порушеннями, що містить довгу одиночну вироблення.

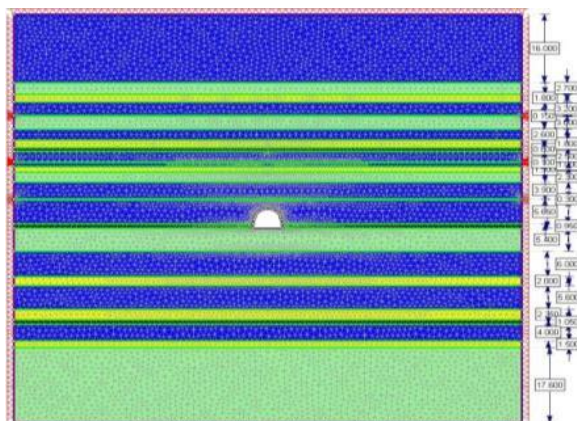


Мал 3.11. Дискретна 3Д модель геомеханічних умов споруди північного конвеєрного ухилу

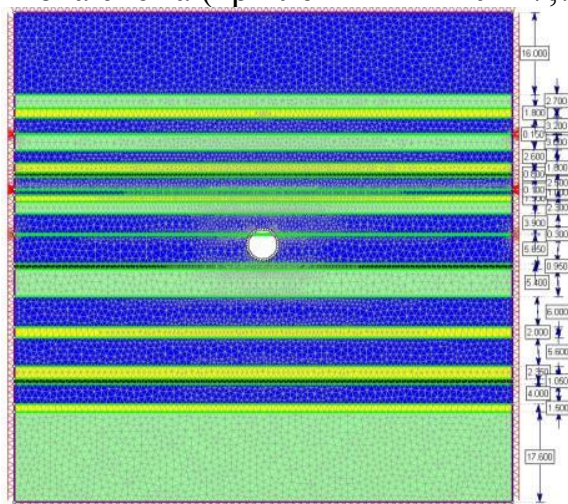
Плоскі перетину на цій моделі відповідають чотирьом виділеним областям. Вирішуючи відповідну об'ємну задачу і переносячи результати рішення на плоскі моделі у вигляді граничних умов, можна досить точно дослідити розподіл напружень і переміщень в характерних областях споруджуваного ухилу. Такі плоскі розрахункові схеми наведені на мал. 3.12-3.14.

На мал. 3.15-3.21 показана динаміка утворення зони непружних деформацій у міру відпрацювання вугільних пластів на різних ділянках, що призводить в реальних умовах до часткової деструкції вмещають порід, збільшення їх обводнення і, як наслідок, до зниження їх міцності. Все це

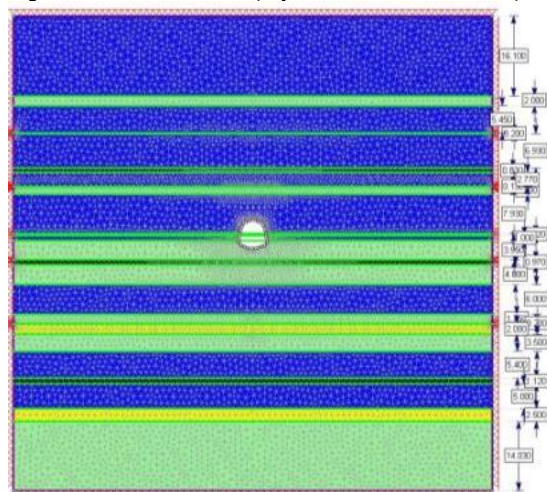
позначається тим чи іншим чином на стійкості капітальних виробок. Власне ухил проводиться в умовах, коли вміщують породи зазнали механічні зміни внаслідок ведення гірських робіт на верхніх і нижчих горизонтах.



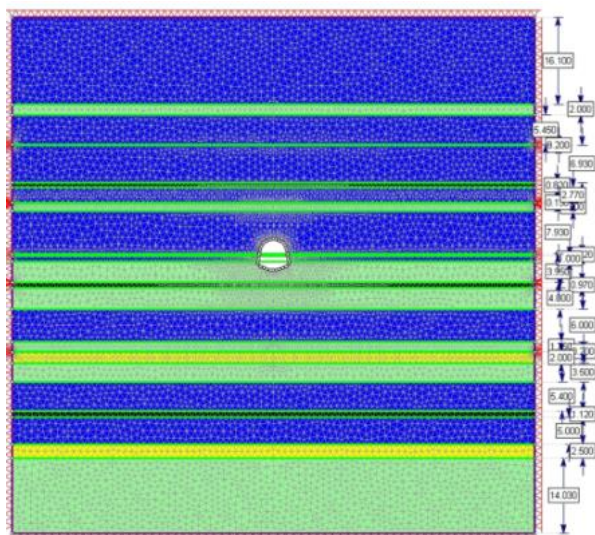
Мал 3.12. Розрахункова схема (кріплення КШПУ-17,7) для перетину 1-1



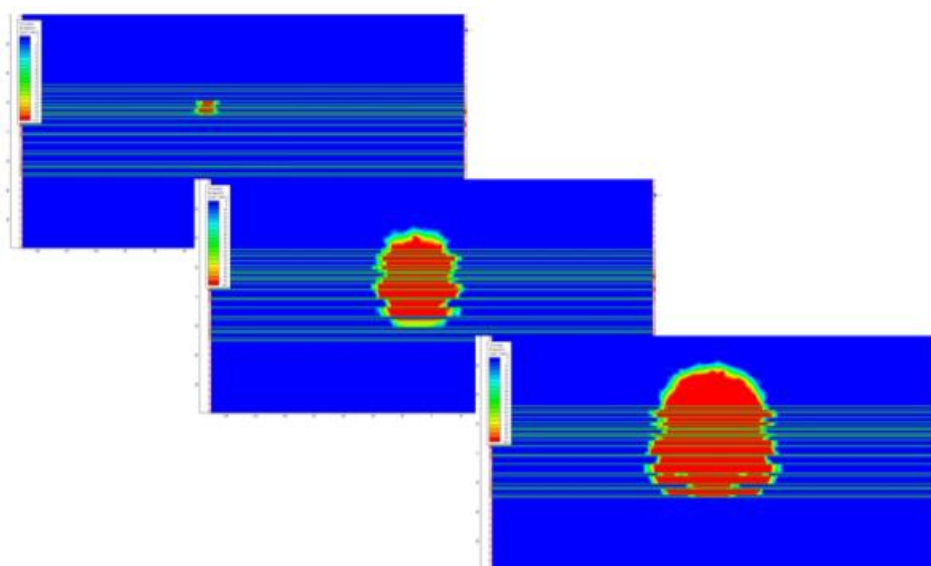
Мал 3.13. Розрахункова схема (кріплення КМК) для перетину 2-2



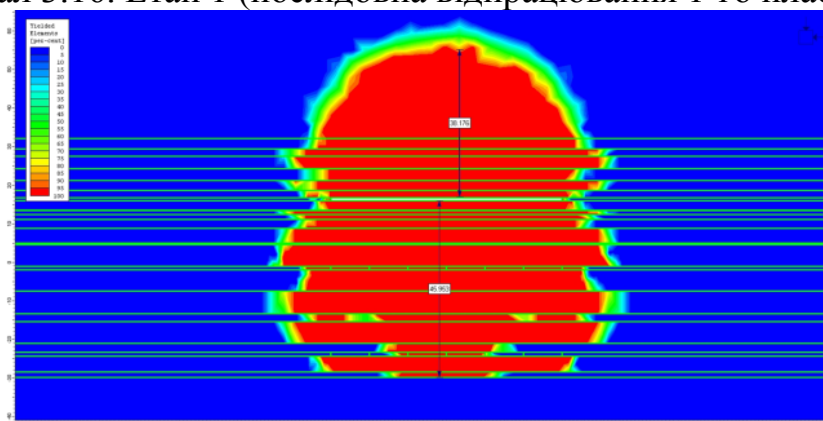
Мал 3.14. Розрахункова схема (кріплення КШПУ-17,7 зі зворотним склепінням) для перетину 3-3



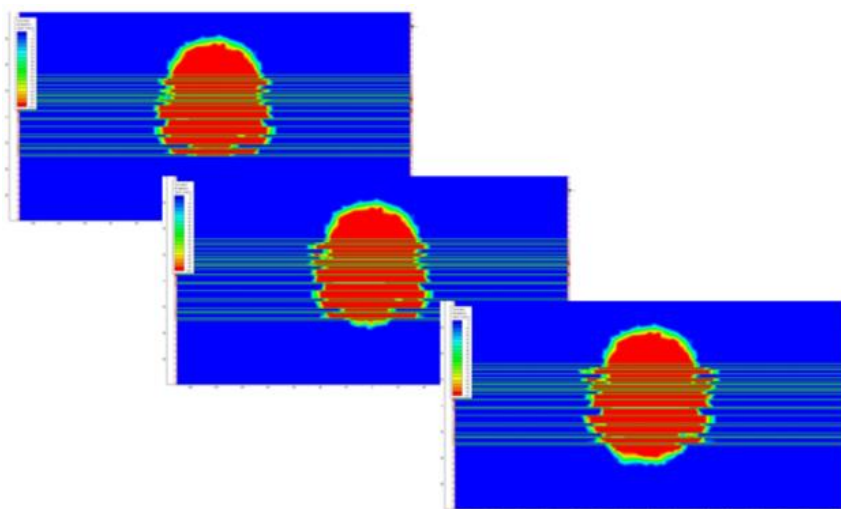
Мал 3.15. Розрахункова схема (кріплення КШПУ-17,7 з анкерами) для перетину 4-4



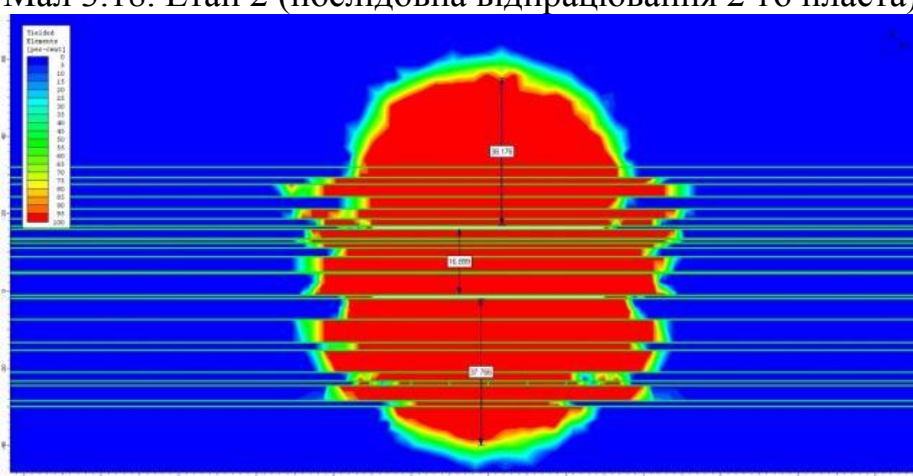
Мал 3.16. Етап 1 (послідовна відпрацювання 1-го пласта)



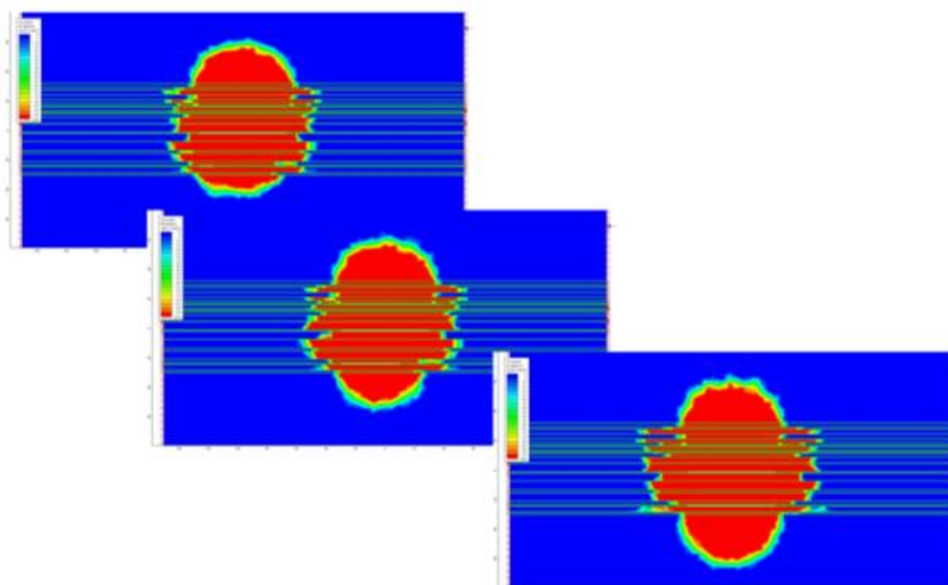
Мал 3.17. Етап 1 (утворення зони непружних деформацій при відпрацюванні 1 пласта)



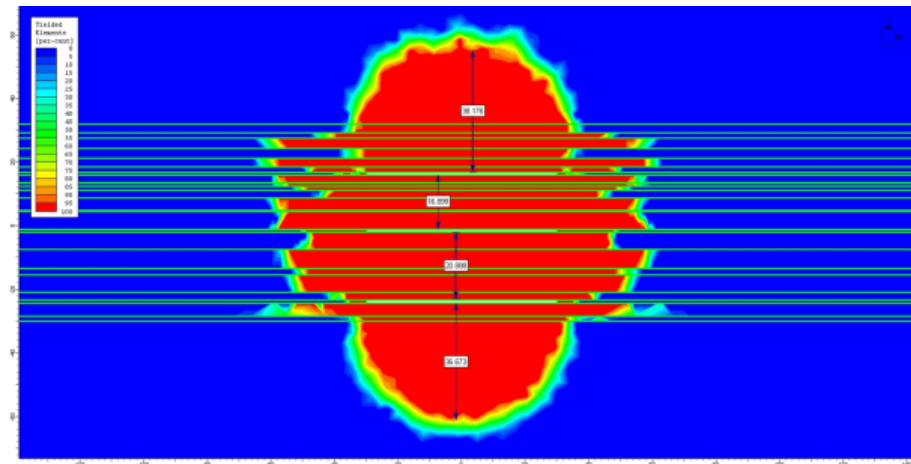
Мал 3.18. Етап 2 (послідовна відпрацювання 2-го пласта)



Мал 3.19. Етап 2 (утворення зони непружних деформацій при відпрацюванні 2 пласта)



Мал 3.20. Етап 3 (послідовна відпрацювання 3-го пласта)



Мал 3.21. Етап 3 (утворення зони непружних деформацій при відпрацюванні 3-го пласта)

Геомеханічні ситуації, що виникають в ході рішення численних завдань по розрахунковим схемам для ситуацій I-IV, будуть різні в силу особливостей породного масиву на цих ділянках. Причому особливості ділянок II-IV (надробка, підробіток, геологічне порушення і їх комбінації) є ускладнюють факторами щодо ділянки I. Облік цих факторів при вирішенні об'ємної чисельної завдання може здійснюватися автоматично шляхом створення коректної геометрії в розрахунковій схемі. Використання адекватних моделей середовища в чисельної задачі при цьому буде тільки покращувати коректність отриманих результатів. При переході до завдань плоским, як це було показано вище, облік впливу цих факторів в явному вигляді ускладнений.

Коректний перехід в таких умовах можливий шляхом введення поправочних коефіцієнтів до розрахункових схем.

Ускладнює фактор є причиною виникнення в даній моделі додаткового напружено-деформованого стану, що проявляється зміною розмірів і форми зони непружних деформацій (ЗНД) навколо досліджуваної вироблення і величини зсувів її контуру. Ці параметри можуть служити основою для обчислення поправочних коефіцієнтів, які враховують вплив ускладнюють факторів або їх комбінації. Разом з тим, коректність результатів розрахунку на моделі повинна без праці піддаватися перевірці в натурних умовах. Виходячи з цього, в якості основи для обчислення поправочних коефіцієнтів найбільш підходящим є параметр «зміщення контуру», величина якого в натурних умовах визначається

значно простіше, ніж розмір ЗНД. Крім того, зміщення вельми добре коректують з радіусом ЗНД і, як показують дослідження проф. Солодянкін А.В. [47], є інтегральним показником, відповідним для оцінки ПДВ геомеханической системи «вироблення-породний масив».

Таким чином, поправочні коефіцієнти були визначені як відношення величини зсувів контуру виробки в моделях для ділянок II-IV до величини зсувів контуру виробки для ділянки I, який розглядається як контрольний.

В ході розрахунків, крім величини зсувів контуру і радіусу ЗНД, в моделях також розглядалися величини навантаження на кріплення вироблення, яка розраховувалася як результат впливу на кріплення стовпа породи, що знаходиться над виробленням в межах ЗНД. Порівняння цих величин також дозволяє оцінювати характер впливу ускладнюючих чинників на ПДВ розглядається геомеханической системи.

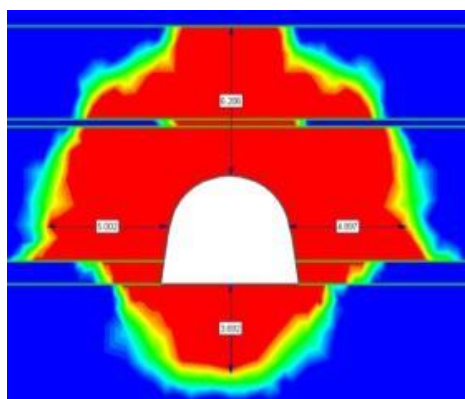
Аналіз отриманих результатів показує наступне.

На мал. 3.22 показана конфігурація зони непружних деформацій і переміщення в околиці тієї частини ухилу, яка має арочну форму поперечного перерізу і закріплена кріпленням КШПУ-17,7. Як впливає з малюнка, вертикальне навантаження на кріплення вироблення в цьому випадку дорівнює $6,2 \text{ м} \times 5,2 \text{ м} \times 2,4 \text{ т} / \text{м}^3 = 78,15 \text{ т} / \text{м}$. де $2,4 \text{ т} / \text{м}^3$ - середній об'ємна вага порід налягає товщі, величина зсувів в покрівлі - 0,15 м, в ґрунті - 0,18 м, в боках - 0,14 м.

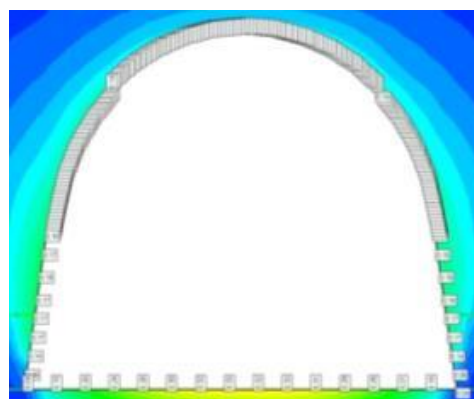
На мал. 3.23 для вироблення з круглим поперечним перерізом показана конфігурація зони непружних деформацій і переміщення контуру виробки. З малюнка слід, що навантаження на кріплення менше, ніж на ділянці I і дорівнює $6,0 \text{ м} \times 3,3 \text{ м} \times 2,4 \text{ т} / \text{м}^3 = 47,52 \text{ т} / \text{м}$. При цьому зміщення в покрівлі склали - 0,12 м, в ґрунті - 0,11 м, в боках - 0,12 м, що цілком відповідає отриманій формі ЗНД (мал. 3.23, а). У порівнянні з ділянкою I, навантаження на кріплення знизилася в 1,6 рази, а зміщення (в середньому по контуру) - в 1,34 рази.

На мал. 3.24 для вироблення арочного обриси зі зворотним склепінням, проведеної на ділянці III - III в умовах підробітку, наведена конфігурація зони

непружних деформацій і зміщення контуру виробки. При цьому вертикальне навантаження на кріплення на ділянці тільки підробітку дорівнює $5,22 \text{ м} \times 5,2 \text{ м} \times 2,4 \text{ т/м}^3 = 65,13 \text{ т/м}$, зміщення в покрівлі - 0,15 м, в ґрунті - 0,21 м, в боках - 0,22 м, що в порівнянні з ділянкою I по навантаженню на кріплення - в 1,2 рази нижче, а по зсувах - в 1,23 рази вище. Така відмінність може бути викликано тим, що розрахунок навантаження на кріплення виробляється тільки з урахуванням стовпа порід в області, обмеженою шириною вироблення, тоді як породи, що входять до ЗНД в боках виробки, в цьому розрахунку не беруть участь, але впливають на величину зсувів у виробці. На цій же ділянці, в зоні перетину геологічного порушення навантаження на кріплення збільшилася в 1,25 рази і склала $6,95 \text{ м} \times 5,2 \text{ м} \times 2,7 \text{ т/м}^3 = 97,68 \text{ т/м}$, а зміщення в порівнянні з ділянкою I збільшилася в 1,5 рази, причому в основному за рахунок зсувів з покрівлі (в покрівлі - 0,25 м, в ґрунті - 0,23 м, в боках - 0,22 м)

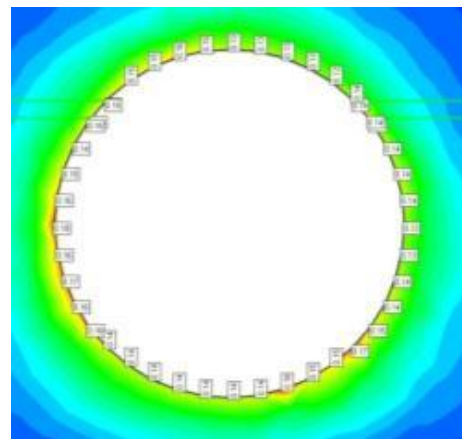
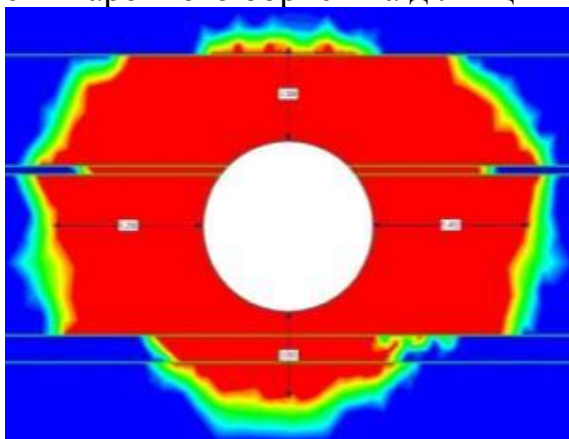


а)

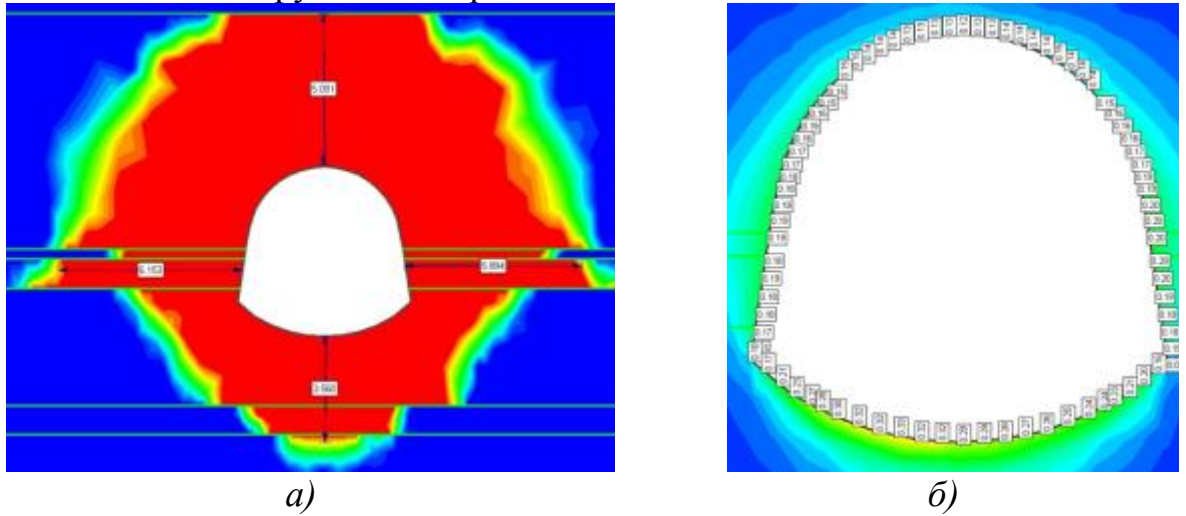


б)

Мал 3.22. Зона непружних деформацій і переміщення (м) в околиці вироблення арочної форми на ділянці 1-1

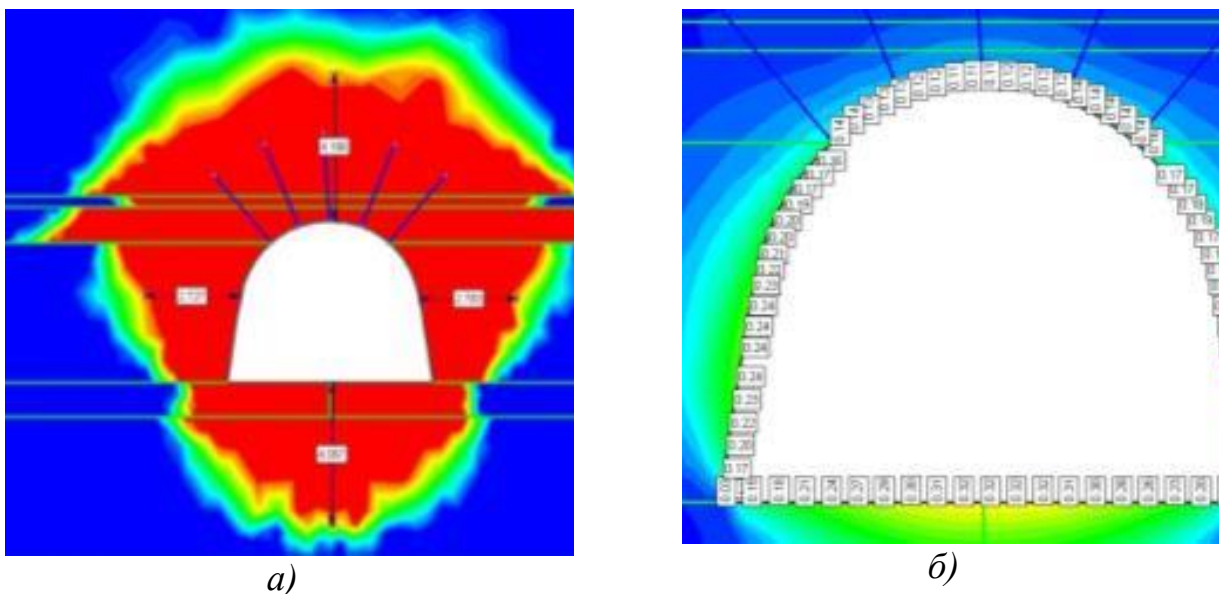


Мал 3.23. Зона непружних деформацій і переміщення (м) в околиці вироблення круглого з обрисами на ділянці 2-2



мал 3.24. Зона непружних деформацій і переміщення (м) в околиці вироблення арочної форми зі зворотним склепінням на ділянці 3-3

На мал. 3.25 приведена конфігурація зони непружних деформацій і зміщення в околиці вироблення арочного обриси з анкерами і тампонаж закріпленого простору на ділянці IV - IV в умовах спільного впливу підробки і надробки. Як впливає з малюнка, навантаження на кріплення в цьому випадку складе $4,5 \text{ м} \times 5,2 \text{ м} \times 2,7 \text{ т/м}^3 = 63,18 \text{ т/м}$, це в 1,24 рази нижче, ніж для ділянки I.



Мал 3.25. Зона непружних деформацій і переміщення (м) в околиці вироблення круглого - обриси з анкерами на ділянці 4-4

Зміщення склали: в покрівлі - 0,15 м, в ґрунті - 0,24 м, в боках - 0,2 м. Це в 1,26 рази вище, ніж для ділянки I. Розрізняючи, як і в разі ділянки II, обумовлені підрахунком навантаження на кріплення тільки від вищого стовпа породи над виробленням, тоді як в розрахунку зсувів враховують зміщення у всіх напрямках.

Таким чином, знаходячи з отриманих результатів, при визначенні навантаження на кріплення і величини її податливості необхідно, в першому наближенні, в залежності від геомеханічної ситуації вводити такі поправочні коефіцієнти:

- при надробці - $k_1 = 0,75$;
- при підробці - $k_2 = 1,23$;
- при підробці і перетині геологічного порушення - $k_3 = 1,5$;
- при підробці і надробці - $k_4 = 1,26$.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена актуальна задача підвищення стійкості капітальних протяжних виробок вугільних шахт.

Основні наукові і практичні результати досліджень полягають у наступному:

1. Проведено збір та обробка інформації про стан протяжних виробок вугільних шахт Західного Донбасу, що дозволило виконати їх класифікацію за умовами експлуатації, встановити характерні прояви гірського тиску, фактичні обсяги ремонтних робіт і визначити можливі шляхи підвищення ефективності підготовчих робіт.

2. Поставлено та розв'язано задачу про вплив форми поперечного перерізу капітальних гірничих виробок на розміри зони непружних деформацій. Це дозволило довести, що в однакових гірничо-геологічних умовах при подібних

розмірах поперечних перерізів розмір зони непружних деформацій приблизно однаковий і тим самим спростити чисельні моделі.

3. Виконано чисельні експерименти по оцінці впливу коефіцієнта бічного розпору на основі геомеханічних параметрів приконтурного масиву, що дозволило довести істотне його вплив на характер прояву гірського тиску і стійкість гірничих виробок.

Список використаних джерел

1. Загібайло В.Є. Про підвищення стійкості гірничих виробок / В.Є. Загібайло, В.В. Ріпка, В.Н. Калиниченко [и др.] // Изв. ВНЗ. Гірський журнал. - 1986.- №1. - С. 25-27.
2. Лишин В.П. Вивчення геологічних умов здимання гірських порід в Західному Донбасі: Геологічний звіт / ісп .: В.П. Лишин, В.Я. Кириченко Фонди Естонія. - 1982.
3. Шашенко О.М. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт. Монографія. О.М.. Шашенко, А.В. Солодянкін, А.В. Мартовицький // - Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2012. - 384 с.
4. Безазьян А.В. Узагальнення результатів та вивчення фізико-механічних властивостей вугілля і порід, що вміщують для прогнозування

гірничотехнічних умов експлуатації вугільних родовищ Західного Донбасу: Геологічний звіт. - Фонди ДГШ. - тисячу дев'ятсот сімдесят шість.

5. Вигодін М.А. Обґрунтування параметрів армопородних грузонесущих конструкцій на базі рамно-анкерних кріплень і технологія їх спорудження в виробках шахт Західного Донбасу: дис ... канд. техн. наук: 01.03.02 / Вигодін Михайло Олександрович. - Д., 1990. - 139 с.

6. Кім Д.Н. Дослідження структурного ослаблення тріщинуватих порід моделюванням міцності властивостей в лабораторних умовах // Питання дослідження гірського тиску і зрушення порід. - Свердловськ: УФ ИГД АН СРСР, 1963. - Вип. 5. - С. 97-105.

7. Попов І.С. Властивості гірських порід і методи їх визначення / І.С. Попов, Є.І. Ільницька та ін. - М.: Недра, 1969. - 388 с.

8. Чирков С.Є. Дослідження впливу масштабного ефекту на міцність вугілля в умовах різних напружених станів: дис ... канд. техн. наук: 01.03.02 - М.: ИГД ім. А.А. Скочинського, 1965. - 184 с.

9. Vlaha Frantisek. Prispěvek k otázce korelace mezi pevností uhelneho vzorku a pevností uhelneho masivu // Sb. Ved. Pr. VSB Ostrave R. horn. geol / 1975. - N 21. - PP. 63-79.

10. Турчанинов І.А. Тектонічні напруги в земній корі і стійкість гірничих виробок / І.А. Турчанинов, Г.А. Марков, В.І. Іванов та ін. / - Л.: Наука, 1978. - 256 с.

11. Усаченко Б.М. Геомеханіка охорони виробок в слабометаморфізованих породах / Б.М. Усаченко, В.П. Чередниченко, І.Є. Головчанский. - К.: Наук. думка, 1990. - 144 с.

12. Баклашов І.В. Оцінка стійкості гірничих виробок / І.В. Баклашов, Б.А. Картозія // Шахтне будівництво-М.: 1978. - № 2. - С. 13-16.

13. Костомаров Н.Є. Вплив міцності масиву на розмір зони непружних деформацій порід навколо гірничої виробки // Гірське тиск і гірські удари. - Л.: Слухаючи. 1977. - № 103. - С. 67-70.

14. Глушко В.Т. Інженерно-геологічне прогнозування стійкості виробок глибоких шахт / Глушко В.Т., Г.Т. Кірнічанській // - М .: Недра. - 1974. -175 с.
15. Фісенко Г.Л. Методи кількісної оцінки структурних послаблень масиву гірських порід у зв'язку з аналізом їх стійкості // Сучасні проблеми механіки гірських порід. - Л .: Наука, 1972. - С. 21-29.
16. Безазьян А.В. Визначення величини коефіцієнта структурного ослаблення міцності гірських порід в масиві // Шахтне будівництво. - 1987. - № 7. - С. 15-17.
17. Шашенко О.М. Механіка гірських порід: Підручник для вузів / О.М. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. - К .: Новий друк, 2003.- 400 с.
18. Роєнко А.М. Стійкість підготовчих виробок вугільних шахт в умовах великих глибин розробки: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.04 / Роєнко Анатолій Миколайович Д., 1995. - 426 с.
19. Перетини гірничих виробок з кріпленням з анкерів і набризкбетону: пояснювальна записка до типовим проектом / Днепргіпрошахт; рук. Г.С. Пінковській.- Д., 1979. - 30 с.- Арх. № 109159.
20. Перетини гірничих виробок для складних гірничо-геологічних умов шахт Західного Донбасу: пояснювальна записка до типовим проектом / Днепргіпрошахт; рук. Г.С. Пінковській.- Д., 1977. - 100 с.
21. Пінковський Г.С. Визначення міцності гірських порід при природній вологості / Г.С. Пінковський, А.В. Безазьян // Вугілля України. - 1979. - № 8. - С. 21-22.
22. Рева С.М. Дослідження властивостей і тріщинуватості бічних порід як основа вибору раціональних кріплень шахт Західного Донбасу: автореф. дис ... канд. техн. наук: спец. 05.15.04 «Шахтне і підземне будівництво» / Рева Станіслав Миколайович; ДГІ.- Д., 1971. - 18 с.
23. Усаченко Б.М. Геомеханіка охорони виробок в слабометаморфізованих породах / Б.М. Усаченко, В.П. Чередниченко, І.Є. Головчанський - К .: Наук. думка, 1990. - 144 с.

24. Стицін В.І. Вивчення проявів гірського тиску в основних гірничих виробках шахт Західного Донбасу з метою вибору раціональних параметрів кріплень: автореферат дис ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08. «Технологія машинобудування» - Дніпропетровськ, 1972. - 20 с.

25. Євтушенко В.В. Проблеми кріплення і тампонажу гірських виробок на шахтах Західного Донбасу // Шахтне будівництво. - 1982. - №6. - С. 19-21.

26. Шмиголь А.В. Шахтні дослідження характеру руйнування гірських порід на шахтах Західного Донбасу / А.В. Шмиголь, В.Я. Кириченко, С.М. Бучацький, В.Н. Рева // Шахтне будівництво. - 1987. - № 5. - С. 11-12.

27. Шемякін Є.І. Зональна дезінтеграція порід навколо підземних виробок. Частина 1. Дані натурних спостережень / Є.І. Шемякін, Г.Л. Фісенко, М.В. Курленя [и др.] // ФТПРПШ. - 1986. - № 3. - С. 3-15.

28. Найдиш А.М. Про вплив глибини розробки на вартість підтримки штреків в пологих вугільних пластах Донбасу / А.М. Найдиш, А.С. Братишко, Г.Л. Чуйков // Вугілля. - 1963. - № 7. - С. 20-23.

29. Кошелєв К.В. Підвищення стійкості капітальних гірничих виробок на великих глибинах / К.В. Кошелєв, В.Ф. Трумбачев. - М.: Недра. 1972. - 127 с.

30. Крупенников Г.Г. Гірське тиск і кріплення капітальних виробок при збільшенні глибини підземної розробки / Г.Г. Крупенников, І.Л. Давидович, Ю.З. Заславський // Дослідження проявів гірського тиску на глибокі горизонтах шахт. Зб. науч. праць Слухаючи. - Л., 1971. - С. 8-23.

31. Буличов Н.С. До питання про тиск на кріплення стовбурів в зв'язку з проблемою великих глибин. Зб. науч. праць Слухаючи. - 1967. - № 63. - С. 216-225.

32. Ліберман Ю.М. Тиск на кріплення капітальних виробок. - М.: Наука. - 1969. - 114 с.

33. Басинський Ю.М. Залежність величини навантажень на кріплення від глибини розташування виробок / Ю.М. Басинський // Проектування і будівництво вугільних підприємств. - 1968. - № 10. - С. 14-17.

34. Шашенко О.М. Деякі завдання статистичної геомеханіки / О.М. Шашенко, С.Б. Тулуб, Е.А. Сдвижкова. - К.: Універ. вид-во "Пульсари", 2002. - 304 с.
35. Литвинський Г.Г. Метод прогнозу зривання ґрунту в гірських виробках // Вугілля України / Г.Г. Литвинський, Е.В. Фесенко. - 2004. - № 1. - С. 9-11.
36. Шашенко О.М. Критерії оцінки стійкості порід ґрунту гірничих виробок / О.М. Шашенко, А.В. Солодянкин // Науковий вісник НГУ. - 2007. - № 1. - С. 44-49.
37. Кошелев К.В. Кріплення та охорона виробок в складних гірничо-геологічних умовах / К.В. Кошелев, А.Г. Томасов, В.Л. Самойлов та ін. - К.: Техніка, 1986. - 110 с.
38. Vlasenko V.V. Gas-geomechanic monitoring system for collieries - A means of environmental control and safety of mining operation / V.V. Vlase, G.Y. Polevshikov & V.P. Potapov // Mine Vtch. and Autom., Almgren, Kumar & Vagenas, Balkema, Rotterdam, 1993, pp. 737-744.
39. Кошелев К.В. Підтримка, ремонт і відновлення гірничих виробок / К.В. Кошелев, А.Г. Томасов. - М.: Недра, 1985. - 216 с.
40. Кошелев К.В. Охорона і ремонт гірських виробок / К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков. - М.: Недра. 1990. - 218 с.
41. Друцький В.П. Технологія проведення гірничих виробок з поетапним зведенням кріплення / В.П. Друцький, Ю.С. Шаповал, В.Г. Гнездилов // Технологія і проектування підземного будівництва: Вісник. - Харків: «Оригінал», 2000. - С. 25-30.
42. Ардашев К.А. Аналіз застосування нормативних документів з проектування кріплень капітальних виробок. Шахтне будівництво. - 1987.- № 3.- С. 9-12.
43. Шашенко О.М. Стійкість підземних виробок в неоднорідному породному масиві: Дис ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11. - Дніпропетровськ, 1988. - 507 с.

44. Шашенко О.М. Методи теорії ймовірностей в геомеханіки / О.М. Шашенко, Н.С. Сургай, Л.Я. Парчевський. - К., Техніка. - 1994. - 216 с.
45. Заславський Ю.З. Дослідження проявів гірського тиску в капітальних виробках глибоких шахт Донецького басейну. - М.: Недра, 1966. - 180 с.
46. Усаченко Б.М. Властивості порід і стійкість гірських виработок.- Київ: Наук. думка, 1979. - 136 с.
47. Солодянкін А.В. Геомеханічні моделі в системі Геомоніторинг глибоких вугільних шахт і способи забезпечення стійкості виробок: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04., 05.15.09. - Д., 2009. - 426 с.
48. Шашенко О.М. До обґрунтування ймовірнісної моделі стійкості протяжної виробки з урахуванням експлуатаційних витрат / О.М. Шашенко, Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкін // Вісті Донецького гірничого інституту. - 2007. - № 1. - С. 3-10.
49. Халимендик О.В. Обґрунтування способу Підвищення стійкості капітальних виробок в умовах великих зміщень породного контуру: дис ... канд. техн. наук: 05.15.04. - Дніпропетровськ, 2012.- 189 с.
50. Араунер Х.В. Управління гірським тиском при використанні технології заповнення закріпного простору і набризгбетонірованія. Глюкауф. - 1985. - № 2. - С. 5-9.
51. Вольмір А.С. Стійкість деформівних систем. - М.: Наука, 1967. - 524 с.
52. Шестаков Г.П. Вплив структурно-геологічних особливостей на розподіл напружень і стійкість ґрунту гірничих виробок шахт Донбасу. Додаток результатів досліджень полів напружень до вирішення завдань гірського справи і інженерної геології: Зб. науч. тр. - Апатити, 1985. - С. 100-104.
53. Черняк І.Л. Запобігання обдимання ґрунту в гірських виработка.- М.: Недра, 1978.- 237 с.
54. Заславський Ю.З. Розрахунок параметрів кріплення виробок глибоких шахт / Ю.З. Заславський, А.Н. Зорін, І.Л. Черняк.- К.: Техніка, 1972.- 156 с.

55. Фадєєв А.Б. Метод кінцевих елементів геомеханіке.- М .: Недра, 1987. - 221 с.
56. Амусин Б.З. Метод кінцевих елементів при вирішенні завдань гірничої геомеханіки / Б.З. Амусин, А.Б. Фадєєв. - М .: Недра, 1975. - 144 с.
57. Ержанов Ж.С. Метод кінцевих елементів в задачах механіки гірських порід / Ж.С. Ержанов, Т.Д. Карімбаєв. - Алма-Ата: Наука, 1975. - 238 с.
58. Розін Л.А. Розрахунок гідротехнічних споруд на ЕЦОМ. Метод кінцевих елементів. - Л .: Енергія, 1971. - 214 с.
59. Розін Л.А. Метод кінцевих елементів в додатку до пружним системам. - М .: Стройиздат, 1977. - 129 с.
60. Зенкевич О. Метод кінцевих елементів в теорії споруд і в механіці суцільних середовищ / О. Зенкевич, І. Чанг; [Пер. з англ.]. - М .: Недра, 1974. - 239 с.
61. Сегерлінд Л. Застосування методу кінцевих елементів.- М .: Мир, 1979. - 392 с.
62. Стренг Г. Теорія методу скінченних елементів / Г. Стренг, Дж. Фікс. - М .: Світ, 1977. - 350 с.
63. Декла Ж. Метод кінцевих елементів. - М .: Світ, 1976. - 96 с.
64. Петухов І.М. Напружений стан масиву гірських порід близько очисних виробок довільної форми в плані / І.М. Петухов, В.В. Зубков, І.А. Зубкова [и др.] // ФТПРПП. - 1982. - № 5. - С. 3-8.
65. Комісарів С.Н. Управління масивом гірських порід навколо очисних виробок / С.М. Комісарів. - М .: Недра, 1983. - 237 с.
66. Дрібан В.А. Оцінка параметрів деформування околоствольного масиву при проведенні сполучаються виробок / В.А. Дрібан, І.А. Чаклунів, С.А. Побійна // Вугілля України. - 2008. - № 11. - С. 10-12.
67. Круковський О.П. Зміна напруженого стану гірських порід навколо виробки з рухомим забоєм / А.П. Круковський, В.В. Круковська // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників- 2009». - Д .: Національний гірничий університет, 2009. - С. 73-78.

68. Бабіюк Г.В. Управління надійністю гірничих виробок. - Донецьк: ТОВ «Світ книги» .- 2012.-418 с.

69. Новікова Л.В. Визначення кроку посадки основної покрівлі з розрахунку тривимірного напруженого стану породного масиву / Л.В. Новікова, Е.А. Сдвижкова, А.М. Кузьменко, В.В. Приходько; ДГІ.- Д.: Деп в УкрІНТЕІ 23.07.92, №1125. - 1991.- 11 с.

70. Приходько В.В. Застосування методу граничних елементів до визначення тривимірного напруженого стану масиву гірських порід в околиці сполучення підземних виробок. Питання міцності і пластичності. - Дніпропетровськ: Вид-во ДДУ. -1993. - С. 137-145.

71. Хозяйкіна Н.В. Закономірності зміни граничного напруженого стану в складноструктурному покрівлі лав пологопадаючих вугільних пластів: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.09. - Д., 2004. - 127 с.

72. Сдвижкова Е.А. Стійкість підземних виробок у структурно-неоднорідному породному масиві з випадково розподіленими властивостями: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.09. - Д., 2002. - 410 с.

73. Сдвижкова Е.А. Чисельний аналіз роботи металевої рамного кріплення в умовах випадкового навантаження. Гірський інформаційний аналітичний бюлетень. - 1997. - № 4. - С. 163-166.

74. СОУ 10.1.00185790.010.- 2006. Погашення гірничих виробок вугільних шахт. Загальні вимоги.

75. Алексеев А.Д. Створення і розробка теоретичних основ граничних станів гірських порід, ослаблених тріщинами: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 01.03.02. - МДІ. - М., 1975. - 34 с.

76. Чернишов С.П. Тріщини гірських порід. - М.: Наука, 1983. - 240 с.

77. Виноградов В.В. Геомеханіка руйнування гранично напружених порід приконтурної зони гірничих виробок: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.09. - Дніпропетровськ, 1988. - 35 с.

78. Шашенко О.М. Механіка гірських порід. - Дніпропетровськ: МДАУ, 2002. - 302 с.

79. Макаров А.Б. Практична геомеханіка. Посібник для гірських інженерів / А.Б. Макаров М. : Изд-во «Гірська книга», 2006.- 391 с.
80. Максимов А. П. Гірське тиск і кріплення виробок. - М. : Недра, 1973. - 288 с.
81. Hoek E. Practical estimates of rock mass strength / E. Hoek, E.T. Brown // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. - 1997. - Vol. 34, N 8. - P. 1165-1186.
82. Hoek, E. : Practical Rock Engineering, 2000. Edition, <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>, 2000..
83. Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B. (2002) Hoek-Brown criterion - 2002 edition. Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002 1, 267-273.
84. Вільд Х.В. 125 років застосування металевих кріплень в гірничій справі і туннелестроєнні. Глюкауф. - 1987. - № 23. - С. 3-7.
85. Максимов А.П. Вплив якості забутовки на несучу здатність металеві аркового кріплення / А.П. Максимов, А.Н. Шашенко, А.Н. Роєнко // Шахтне будівництво. - 1987. - № 3.- С. 21-23.
86. Очкур В.І. Дослідження несучої здатності трехшарнирної арочної металеві кріплення / В.І. Очкур, В.Л. Федулін // Стійкість і кріплення гірничих виробок: Межвуз.сб. научн.тр. - Л. : ЛГМ, 1980. - С. 102-108.
87. Корнілков М.В. Дослідження ПДВ аркового кріплення для обґрунтування зон раціонального посилення її анкерами / М.В. Корнілков, Ю.К. Країв, В.Б. Пяткова, В.А. Прутян // Стійкість і кріплення гірничих виробок: Межвуз.сб. научн.тр. - Л. : Вид. ЛГМ, 1990. - С. 109-112.
88. Попов В.Л. Розрахунок кріплення підготовчих виробок на ЕОМ / В.Л. Попов, В.М. Каретников, В.М. Еганов. - М. : Недра. - 1978. - 230 с.
89. Шашенко О.М. Вплив схеми завантаження на несучу здатність арочних металеві кріплень / О.М. Шашенко, А.П. Максимов, А.Н. Роєнко // Будівництво шахт, рудників і підземних споруд: Межвуз. наук. - тем. сб., - вип.8. - Свердловськ: вид. СГИ. - 1982, - С. 57-82.

90. Баранніков П.І. Підвищити ефективність роботи арочної податливою кріплення з СВП / П.І. Баранніков, Е.Д. Шариков // Шахтне будівництво. - 1979. - № 9. - С. 6-9.
91. Глушко В.Т. Прояв гірського тиску в глибоких шахтах. - К .: Наукова думка, 1971. - 195 с
92. Заславський Ю.Е. Нові види кріплення гірничих виробок / Ю.Е. Заславський, Є.Б. Дружко.- М .: Недра, 1989. - 258 с
93. Глушко В.Т. Оцінка напружено-деформованого стану масивів гірських порід / В.Т. Глушко, С.П. Гавеля //. - М .: Недра, 1986. - 221 с.
94. Глушко В.Т. Охорона виробок глибоких шахт / В.Т. Глушко, Т.Н. Цай, Н.І. Ваганов.- М .: Недра, 1975. - 200 с.
95. Черняк І.Л. Управління гірським тиском в підготовчих виробках глибоких шахт / І.Л. Черняк, Ю.І. Бурчаков.- М .: Недра. - 1984. - 303 с.
96. Копилов А.Ф. Підвищення стійкості надрабативаємої вироблення / А.Ф. Копилов, В.В. Назимко // Вугілля України. - 1994. - № 8. - С. 23-24.
97. Якобі О. Практика управління гірським тиском. - М .: Недра, - 1987. - 566 с.
98. Кацауров І.М. Механіка гірських порід.- М .: Недра. - 1981. - 186 с.
99. Комісарів М.А. Дослідження металевих конструкцій податливого кріплення для підготовчих виробок / М.А. Комісарів, Г.П. Борсук // Кріплення гірничих виробок. Зб. науч. тр. - М .: Углетехіздат. -1953. - С. 20-38.
100. Ставрогин А.Н. Механіка деформування і руйнування гірських порід / О.М. Ставрогин А.Г. Протосеня //.- М .: Недра. - 1992. - 224 с.
101. Єрофєєв Л.М. Підвищення надійності кріплення гірничих виробок / Л.М. Єрофєєв, Л.А. Мірошникова //. - М .: Недра. - 1988. - 245 с.
102. Заславський І.Ю. Підвищення стійкості підготовчих виробок вугільних шахт / І.Ю. Заславський, В.Ф. Компанець, А.Г. Файвишенко, В.М. Клещенко. - М .: Недра, 1991. - 233 с.
103. Соболев В.В. Шляхи зниження витрат на підтримку виїмкових штреків на шахтах об'єднання "Інтауголь". Вугілля. - 1989. - № 2. - С. 18-20.

104. Баймухаметов С.К. Удосконалення способу підтримки виїмкових виробок за лавою при бесцеликовой технології відпрацювання пластів в Карагандинському басейні / С.К. Баймухаметов, Х.Б. Есмагамбетов, А.О. Спроге // Вугілля. - 1989. - № 12.- С. 14-18.

105. Выборнов С.Н. Аналіз впливу гірничотехнічних факторів на стан виїмкових виробок методом кінцевих елементів. Прогресивна технологія, комплексна механізація і автоматизація проведення гірничих виробок: Наук. повідом. - М., ІГД ім, А.А. Скочинського, 1984. - С. 77-83.

106. Трумбачев В.Ф. Розподіл напружень навколо гірських виработок.- М.: Углетехіздат. - 1956. - 128 с.

107. Кошелев К.В. Характеристика вивалоутворень в гірських виробках шахт Донбасу / К.В. Кошелев, О.К. Кошелев, А.В. Фісунов // Підземне і шахтне будівництво. - 1991. - № 5. - С. 11-14.

108. СНиП II-94-80. Підземні гірничі виробки. Норми проектування.

109. КД 12.01.201-98. Технологічні схеми розробки пологих пластів на шахтах України.

110. СОУ 10.1.00185790.011: 2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення и ЗАСОБІВ охорони.

111. Солодянкин А.В. Обґрунтування параметрів способу посилення кріплення підготовчих виробок при несиметричного навантаження. Дисс ... канд. техн. наук: 05.15.04. - Дніпропетровськ, 1996. - 243 с.

112. Мусієнко С.П. Управління руйнуванням приконтурних порід за допомогою анкерів // Управління станом гранично-напружених порід: Зб. наук. тр. - Київ: Наук. думка. - 1991. - С. 111-117.

113. Звонарев Н.К. Дослідження роботи податливого анкера з замком з сипучого матеріалу і дослідження взаємодії масиву з кріпленням виробок / Н.К. Звонарев, Б.А. Казанцев // Стійкість і кріплення гірничих виробок: Межвуз. зб. наук. тр. - Л.: Ленінградський горн. ін-т. - 1988. - С. 97-99.

114. Байкенжін М.А. Розробка способу підтримки пластових підготовчих виробок глибоких горизонтів шахт податливою рамно-анкерним кріпленням:

автореф. дисс ... канд.техн. наук: спец. 05.02.02 «Технології машинобудування»
.- Алма-Ата. -1987. - 18 с.

115. Мартиненко І.І. Нові способи кріплення виїмкових виробок, засновані на використанні традиційно застосовуваних серійних кріплень / І.І. Мартиненко, І.А. Мартиненко, М.В. Прокопова, І.А. Капралова, Ж.А. Голенева // Гірський інформаційно-аналітичний бюлетень, №7, 2002.- С. 35-41.

116. Обґрунтування параметрів анкерного і рамно-анкерного кріплення для умов шахт ДП «Шахтарськантрацит» // Звіт про НДР за темою 050376. ДВНЗ «НГУ» - Дніпропетровськ, 2008. - 98 с.

117. Наумович А.В. Обґрунтування параметрів способу забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких вугільних шахт. Дисс ... канд. техн. наук: 05.15.04. - Дніпропетровськ, 2010. - 151 с.

118. ДБН Д.1.1-1-2000. Правила визначення вартості будівництва: будівельні норми / НПФ «Інпроект», Управління реформування ціноутворення, методології експертизи та контролю вартості будівництва Держбуду України. - Чинний з 27-08-00. - К.: Держбуд України, 2000.

119. ДБН Д.2.2-35-99. Збірник 35 Гірничопрохідницькі роботи: будівельні норми / НПФ «Інпроект», Управління реформування ціноутворення, методології експертизи та контролю вартості будівництва Держбуду України; - Чинний з 26-05-00. - К. : Держбуд України, 2000.