

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"

Інститут природокористування
 (інститут, факультет)

Кафедра гірничої інженерії та освіти
 (повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню
магістра
 (бакалавр, магістр)

студента Безреброго Олександра Олександровича .
 (П І Б)
 академічної групи 184м-22з-2 ІП .
 (шифр)
 спеціальності 184 Гірництво .
 (код і назва спеціальності)
 за освітньо-професійною програмою Інжиніринг гірництва .
 (офіційна назва)

на тему: : **Обґрунтування параметрів кріплення виробок в умовах шаруватого гірського масиву шахти «Західно-Донбаська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».**

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Проф. Почепов В.М.			
розділів:				
Розділ 1	Проф. Почепов В.М.			
Розділ 2	Проф. Почепов В.М.			
Охорона праці	Проф. Яворська О.О.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Ст. викл. Лапко В.В.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
гірничої інженерії та освіти
(повна назва)

_____ **проф. Бондаренко В.І.**
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня
магістра
(бакалавра, магістра)

студенту Безреброму О.О. академічної групи 184м-22з-2 ІП.
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 184 Гірництво
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Інжиніринг гірництва
(офіційна назва)

на тему: Обґрунтування параметрів кріплення виробок в умовах шаруватого гірського масиву шахти «Західно-Донбаська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _

Розділ	Зміст	Термін виконання
Вступ Розділ 1	Вступ. Характеристика гірничого підприємства	15.10.2023 р.
Розділ 2	Сучасні методи прогнозу зміщення шаруватого масиву в системі «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок». Дослідження моделі деформування системи «шаруватий масив – кріплення виїмкової виробки».	28.10.2023 р.
Розділ 3	Заходи з охорони праці та підтримання нормальних умов праці. Висновки.	11.12.2023 р.

Завдання видано _____ **Почепов В.М.**
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: **05.10.2023 р.**

Дата подання до екзаменаційної комісії: **11.12.2023 р.**

Прийнято до виконання _____ **Безребрий О.О.**
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 63 сторінки, 13 рисунків, 4 таблиці, 19 джерел використаної літератури.

Об'єкт розробки: кріплення виїмкових штреків шахти «Західно-Донбаська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Мета кваліфікаційної роботи – поліпшення експлуатаційних характеристик виїмкових виробок при обліку параметрів граничного стану порід шаруватого гірського масиву в умовах шахти Західно-Донбаська.

У вступі наведено актуальність та обґрунтування теми кваліфікаційної роботи, визначено мету, завдання і методи досліджень.

В першому розділі надані загальні відомості про виробниче підприємство, для умов якого проводилася дослідницька робота.

В другому розділі виконано аналіз стану проблеми, визначено шляхи її науково-практичного рішення та сучасні методи прогнозу руйнування шаруватого масиву.

В третьому розділі розглянуті особливості впливу різних структурних характеристик вуглевмісного гірського масиву на параметри вибору конфігурації кріплення виїмкової виробки. Наведена процедура визначення раціональних параметрів виїмкової виробки.

У підрозділі «Охорона праці» визначено засоби забезпечення безаварійності роботи виробничих ланцюгів шахти та безпечної праці шахтарів та представлені заходи щодо комплексного знепилення.

**КРІПЛЕННЯ, ПЛАСТ, ШАРУВАТИЙ ПОРОДНИЙ МАСИВ,
ГРАНИЧНИЙ СТАН ПОРІД, ПОКРІВЛЯ ВИРОБКИ, ПІДОШВА
ВИРОБКИ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЗНЕПИЛЕННЯ**

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА ..	8
1.1 Місцезнаходження підприємства.....	8
1.2 Геологічна характеристика шахтного поля.....	8
2. СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ЗМІЩЕННЯ ШАРУВАТОГО МАССИВУ В СИСТЕМІ «ШАРУВАТИЙ МАСИВ-КРІПЛЕННЯ ВИЙМКОВОЇ ВИРОБКИ»	14
2.1. Стан проблеми кріплення виїмкових виробок в слабких породах.....	14
2.2. Розвиток геомеханічних моделей дослідження стану системи «породний масив – кріплення виробки».....	16
2.3. Технологія обчислювального експерименту для вирішення завдань геомеханіки	20
2.4. Дослідження розрахункової моделі обчислювального експерименту...	22
2.5. Вплив геомеханічних параметрів вуглевмісного масиву на зміщення порід покрівлі та підшви виробки.....	42
3. Охорона праці	54
3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів при проведенні гірничих виробок.....	54
3.2 Знепилення при проведенні гірничих виробок.....	55
3.3 Пиловібухозахист при проведенні виробки.....	58
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62

ВСТУП

Актуальність роботи. На теперішній час вугільна промисловість в Україні є однією з найбільш важливих галузей. Вугілля, яке нею видобувається застосовується на багатьох промислових підприємств країни, велика частина яких відноситься до енергетики і металургії. На Україні кам'яне вугілля є енергетичною сировиною, запаси якої досить великі. У зв'язку з тим, що щорічно зростає потреба в електроенергії, зростає потреба і у вугіллі. Однак, в даний час, вугільна промисловість, також як і всі інші галузі, знаходиться в критичному стані. Основними причинами, що стримують розвиток галузі, є затримки платежів з розрахунку за відвантажене вугілля і відсутність фінансування з боку держави, що призводить до неможливості придбання нової і ремонту старої техніки, і як наслідок призводить до зменшення продуктивності шахт.

Складне економічне становище держави, коли зруйновано багато господарських зв'язків, шахти відчують гостру нестачу сучасної вугледобувної техніки, транспортних засобів, потрібних запчастин і приладів, кріпильних, паливно-мастильних та інших матеріалів. Важке фінансове становище, через неплатежі споживачів, не дає можливості шахтам успішно вирішувати питання задовільного обслуговування всієї мережі виробок, завдання мінімізації витрат для забезпечення основних технологічних ланцюгів стають критично важливими. Серед таких завдань великою групою виділяються питання забезпечення експлуатаційних характеристик очисних і виїмкових виробок, забезпечення достатнього рівня безпеки проведення гірничих робіт. Розробка різних конфігурацій кріплення виробок і охоронних конструкцій вимагає визначення оптимальних несучих показників, значення яких прямо пов'язані з рівнем гірського тиску яке генерує породний масив в ході проведення гірничих робіт.

Тому розробка моделі технологічного розрахунку епюри переміщень контуру виробки, розташованої в шароватому масиві слабких порід, для комплексної оцінки ділянок зміни механічних характеристик породних шарів і елементів рами в позамежному стані матеріалів досліджуваних об'єктів є, безумовно, актуальним завданням підвищення стійкості виїмкових виробок.

Об'єкт дослідження – геомеханічні процеси в системі, що включає шаруватий масив порід в околиці виїмкових виробок і конструктивних елементів кріплення.

Предмет дослідження – взаємодія елементів системи «шаруватий масив - кріплення виїмкової виробки» при зміні внутрішніх механічних характеристик порід.

Ідея роботи полягає в застосуванні рішень контактних задач при прогнозуванні зсувів елементів кріплення виїмкової виробки.

Мета кваліфікаційної роботи – поліпшення експлуатаційних характеристик виїмкових виробок при обліку параметрів граничного стану порід шаруватого гірського масиву в умовах шахти Західно-Донбаська.

Реалізація поставленої мети досягається шляхом послідовного вирішення наступних основних задач:

- обґрунтувати просторову модель зрушення шаруватого масиву слабких порід в околиці виїмкової виробки для умов залягання вугільних пластів шахти Західно-Донбаська;
- провести комплексне дослідження напружено-деформованого стану (НДС) системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» по повній діаграмі деформування кожного зі складових її елементів і оцінити достовірність отриманих результатів.

Методи дослідження - поставлена мета досягнута на основі комплексного підходу, що включає:

- аналіз і узагальнення сучасних експериментальних, аналітичних і чисельних методів досліджень процесів взаємодії кріплення підземних виробок з вуглевмісним породним масивом;
- комп'ютерне моделювання взаємодії елементів системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» в дограничному, граничному та позамежному їх станах із залученням методу кінцевих елементів при дослідженні НДС системи;
- метод кореляційно-дисперсійного аналізу результатів математичного експерименту в рішеннях прикладних задач; тестування результатів математичних експериментів за даними натурних досліджень.

Практичне значення роботи полягає в розробці параметрів прийняття технологічних рішень при виборі конфігурації кріплення виїмкових штреків в умовах шахти «Західно-Донбаська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Реалізація результатів роботи. Основні положення роботи можуть бути використані при створенні і розробці проектної документації проведення і кріплення виробок на шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Місцезнаходження підприємства

Шахтне поле розташоване в Павлоградсько-Петропавлівському вуглепромисловому районі Західного Донбасу.

У адміністративному відношенні шахта розташована на території Павлоградського району Дніпропетровської області України.

Шахта "Західно-Донбаська" №16/17 здана в експлуатацію 30 грудня 1979 року з проектною потужністю 1.5 млн.т видобутку вугілля на рік.

Шахтне поле розмірами по простяганню - 16.0 км, по падінню - від 3.0 до 6.0 км (площа гірничого відведення - 77,3 км²), розділені на 3 блоки і розкриті двома вертикальними центрально-здвоєними стволами, розташованими на блоці №1, і двома вертикальними центрально-здвоєними стволами, розташованими на блоці №3.

1.2 Геологічна характеристика шахтного поля

У геологічній будові шахтного поля беруть участь продуктивні відкладення нижнього карбону що перекривають їх осадові утворення тріас-юрського, палеогенового, неогенового і четвертинного віків. Залягання вугільних пластів і порід пологі із зануренням в північно-східному напрямі під кутом 2-5°.

У тектонічному відношенні шахтне поле слабо ускладнене тектонічними порушеннями. З великих тектонічних порушень відмічений Богданівський скид з амплітудою до 300м, що є межею шахтного поля з боку повстання, уздовж південної межі шахти. Простягання скиду північно-західне.

На північному заході проходить Благодатненський скид. Простягання скиду північно-західне, амплітуда зміщення 12-40м.

В межах шахтного поля промислове значення має 9 вугільних пластів: С₁₀^В, С₉, С₈^В, С₈^Н, С₇^Н, С₆, С₅, С₄^В, і С₁. На площі простежується ряд постформаційних розривів і фаціальних заміщень вугільних пластів (С₁₀^В і С₅). Для пластів С₁₀^В, С₆

і C_1 характерним є розщеплювання, після чого одна з пачок або обидві частини втрачають промислове значення.

У гідрогеологічному відношенні шахтне поле віднесене до закритого типу, обводненість гірничих виробок здійснюється за рахунок статичних запасів підземних вод, що містяться в піщаниках і вугільних пластах карбону.

Природна метанонасність вугілля коливається від 8 до 14 м³/т с.б.м., газонасність вміщуючих порід досягає 2м³/т. Глибина залягання поверхні метанових газів складає 150-200м.

Нині розробляється два вугільних пласти C_{10}^B і C_8^H . У 2019 році розпочаті роботи по розкриттю і підготовці пласта C_5 . Пласт C_{10}^B характеризується повсюдним поширенням із стійкою робочою потужністю від 0,6м до 1,25м. Будова пласта в основному проста і лише по ряду свердловин пласт має двух-, рідше трьохпачкову будову з наявністю порідного прослоя потужністю від 0,1 до 0,35 м. Викопіювання з плану гірничих робіт по пласту C_{10}^B зображена на рис. 3.2.

Пласт C_8^H залягає на 59м нижче пласта C_{10}^B . Будова пласта - складна. На оцінюваній площі він характеризується повсюдним поширенням з робочою потужністю від 0,65м до 1,15м.

В цілому гірничо-геологічні умови відпрацювання пластів C_{10}^B і C_8^H досить складні. Безпосередня покрівля від дуже нестійкої до нестійкої, безпосередня підшва - від нестійкої до середовищ нестійкої. Вугільні пласти не схильні до самозаймання.

Пласти відпрацьовуються довгими стовпами по повстанню.

Всі вироблення проходяться комбайнами КСП-32 (33), ККД-22 з валовоювиїмкою вугілля і породи.

Для зменшення обсягів підготовчих виробок і скорочення втрат вугілля прийнята схема відпрацювання стовпів без залишення ціликів між ними, з дворазовим використанням збірних штреків, які охороняються з боку

відпрацювання лави. Виїмкові штреки збірний і бортовий, слідом за посування лав погашаються (за винятком штреків, які повторно використовуються).

Очисні роботи ведуться механізованими комплексами 1КД-80 з виїмковими комбайнами типів УКД 200/250 (КА-200) і забійними скребковими конвеєрами типу СП-251.

Спосіб управління покрівлею в лавах - повне обвалення. Довжина лав при відпрацюванні вищевказаних пластів становить 280 м.

Проектна потужність шахти - 2500 тис. тонн, встановлена виробнича потужність - 2430 тис. т.

На шахті працюють три видобувних і три підготовчі дільниці. Загальна протяжність діючих гіничих виробок на 01.01.2022 року – 112,2 км, протяжність виробок з локомотивною вікаткою 40,9 км.

Фізико-механічні властивості вміщуючих порід наведено в таблиці 1.1.

Фізико-механічні властивості вміщуючих порід по пласту С₁₀^Б

№ п/п	потужність м	Опис порід	Стійк. та обв.	σ _{сж} ,	f	щільність
Основна покрівля						
1.	0,10-0,35	Вугільний пропласток - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховато-смугастий, вологий, тріщинуватий, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26
2.	2,0-5,90	Аргіліт сірий, слюдистий, з горизонтальною слабо вираженою шаруватістю, з залишками обвугленою піритизованих флори	A1	15,9	1,6	2,32
3.	0,20-0,45	Вугільний пропласток - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховато-смугастий, вологий, тріщинуватий, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26
4.	0,0-6,75	Алевроліт сірий, тонкозернистий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності глинистого і піщаного матеріалів, з обвуглено-рослинним детритом	A2	28,5	2,8	2,36
5.	0,12-0,36	Вугільний пропласток - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховато-смугастий, вологий, тріщинуватий, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26
6.	0,0-4,00	Аргіліт сірий, з горизонтальною слабо вираженою шаруватістю, з включеннями сідрітових нирок із залишками обвугленою піритизованих флори	A1	15,9	1,6	2,32
7.	0,0-0,30	Вугільний пропласток - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховато-смугастий, вологий, тріщинуватий, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26
8.	0,0-9,30	Алевроліт сірий, тонкозернистий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності глинистого і піщаного матеріалів, з обвуглено-рослинним детритом	A2	28,5	2,8	2,36
9.	0,0-13,75	Пісковик сірий, кварцовий, дрібнозернистий, міцний, щільний, на глинисто-ізвестковистого цементі, з піритизованих залишками флори	A3	24,7	2,4	2,32
10.	0,0-9,20	Аргіліт сірий, з горизонтальною слабо вираженою слоистістю, щільний, з включеннями глино-сідрітових почек	A1	15,9	1,6	2,32
11.	0,0-3,70	Алевроліт сірий, тонкозернистий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності глинистого і піщаного матеріалів	A2	28,5	2,8	2,36

Безпосередня покрівля						
10 а	0,0-1,5	Аргіліт сірий, з горизонтальною слабо вираженою слоистістю, щільний, з включенням глино-сідірітових почек	Б1-Б3	15,9	1,6	2,32
11 а	0,0-1,5	Алевроліт сірий, тонкозернистий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності глинистого і піщаного матеріалів	Б1-Б3	28,5	2,8	2,36
12.	0,86-1,13	Вугільний пласт С ₁₀ ^а - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховато-смугастий, вологий, тріщинуватий, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26
Безпосередня підшва						
13.	0,10-3,70	Аргіліт сірий, грудкуватої текстури, типу "кучерявчик", пухкий, нестійкий, з повною втратою несучої здатності, із залишками піритизірованих флор	П1-П2	15,9	1,6	2,32
14.	0,00-0,92	Алевроліт сірий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності піщаного і глинистого матеріалів, у верхній частині (0,2 м) з численними залишками обвуглені рослинного детриту	П1-П2	28,5	2,8	2,36
15.	0,0-1,10	Пісковик сірий, кварцовий, дрібнозернистий, міцний, щільний, на глинисто-ізвестковистого цемент		24,7	2,4	2,32
16.	0,0-4,25	Алевроліт сірий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності піщаного і глинистого матеріалів, щільний, по нашаруванню з обвуглитися рослинним детритом, в покрівлі грудкуватої текстури типу "кучерявчик"		28,5	2,8	2,36
17.	0,0-3,60	Аргіліт сірий, з горизонтальною слабо вираженою слоистістю, щільний, з включенням глино-сідірітових нирок із залишками обвугленою піритизірованих флор		15,9	1,6	2,32
18.	0,25-0,50	Вугільний пропласток С ₁₀ -н - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховатість-смугастий, вологий, тріщинуватий, від простого до складного будови, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26
19.	0,0-9,20	Аргіліт сірий, з горизонтальною слабо вираженою слоистістю, щільний, з включенням глино-сідірітових нирок із залишками обвугленою піритизірованих флор, в покрівлі грудкуватої текстури типу "кучерявчик"		15,9	1,6	2,32
20.	0,0-12,95	Алевроліт сірий, слюдистий, горизонтально-шаруватий за рахунок наявності піщаного і глинистого матеріалів, щільний, з обвуглитися рослинним детритом		28,5	2,8	2,36
21.	0,0-0,23	Вугільний пропласток - чорний, міцний, в'язкий, напівматовий, штриховатість-смугастий, вологий, тріщинуватий, контакти з бічними породами рівні, різкі, слабкі		40-50	4-5	1,26

22.	0,0-10,0	Аргіліт сірий, з горизонтальною слабо вираженою шаруватістю, щільний, з включенням глино-сідрітових нирок і з залишками обвугленою пірітیزованої флори		15,9	1,6	2,32
-----	----------	--	--	------	-----	------

2. СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУ ЗМІЩЕННЯ ШАРУВАТОГО МАССИВУ В СИСТЕМІ «ШАРУВАТИЙ МАСИВ-КРІПЛЕННЯ ВИЙМКОВОЇ ВИРОБКИ»

2.1. Стан проблеми кріплення виїмкових виробок в слабких породах

Надійність і ефективність роботи вугільної шахти обумовлена, в першу чергу, забезпеченням не тільки стійкості гірничих виробок, а й збереженням їх експлуатаційних характеристик за діючими нормами і правилами безпеки [1-4]. Тому оцінці стану виробок, особливо пластових, по яким йдуть основні транспортні потоки вугілля, необхідно приділяти належну увагу.

На жаль, наявна техніко-економічна інформація про стан підготовчих виробок на шахтах України поки не викликає оптимізму [7-10]. Заміри переміщень в підготовчих виробках на шахтах Західного Донбасу вказують на високу інтенсивність процесу зрушення шаруватої вуглевмісної товщі слабких порід на всіх ділянках периметра виробки (нерідко перевищують 1 м і більше), що також підтверджують розрахунки за нормативними методиками.

Крім того, шарувата вуглевмісна товща слабких порід Західного Донбасу породжує вкрай негативне явище - пучіння порід підшви виробок. Відзначається, що процес здимання підшви підготовчих виробок відбувається в тій чи іншій мірі в багатьох регіонах Донбасу. Найбільш інтенсивно цей вид проявів гірського тиску має місце в Західному Донбасі, де його вплив позначається не тільки на деформації кріплення, зменшенні перерізу виробок (вентиляція, водовідлив), але і на засобах транспорту (не дотримуються мінімально допустимі зазори, максимально допустимі кути нахилу рейкового шляху і в ряді випадків відбувається його руйнування). Наводяться дані, що більше 40% виробок вимагають неодноразових ремонтів і перекріплення протягом періоду їх експлуатації. Аналогічну думку викладено в роботі, де вказується надзвичайна актуальність забезпечення стійкості підготовчих виробок шахт Західного Донбасу - необхідність в ремонті відчувають до 50% їх протяжності. Особливо негативно на стійкість виробок впливає пучіння

підосви, внаслідок чого в ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» в різні роки здійснювалася зривання підосви сумарною довжиною більше 130 км, ремонт рейкового шляху - близько 180 км із зайнятістю до 10,4% від усіх підземних робітників на зазначених операціях. Особливо важкі умови підтримки виробок спостерігаються на глибинах. Також є відомості, що підтверджують надзвичайну актуальність проблеми боротьби з пучінням підосви: частка витрат на підтримку виробок досягає 15% в собівартості видобутку вугілля, а 45% всіх виробок, що вимагають ремонтно-відновлювальних робіт обумовлені проявом пучіння.

Що стосується кріплення підготовчих виробок, то найбільш широке поширення) найшла металева податлива, шатрова різновид якої (КШПП) в ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» використовується у 82,7% від загального обсягу металокріплення. Всі дослідники пов'язують високу інтенсивність проявів гірського тиску в Західному Донбасі з фізико-механічними властивостями шаруватої вуглевмісної товщі. Родовище Західного Донбасу охоплює п'ять районів (Петропавлівський, Павлоградський, Новомосковський, Царичанський і Лозівський) Дніпропетровської і Харківської областей, а вміщують породи на 80% представлені глинистими і піщано-глинистими сланцями (опір стисненню від 2,3 МПа до 62 МПа), схильними до розмокання, і до 20% піщаними сланцями і обводненими пісковиками (опір стисненню від 22 МПа до 67 МПа). При розмоканні сланці втрачають до 50 ... 80% своїх міцнісних властивостей. Ці дані наведені для оцінки перспективи стійкості майбутніх підготовчих виробок. З одного боку, на вже діючих шахтах перехід на більш глибокі горизонти призводить до різкого зниження стійкості виробок. З іншого боку, будівництво нових шахт при освоєнні Західної частини родовища, наприклад, в Новомосковському районі зіткнеться з ще більш низькими властивостями міцності вуглевмісної товщі.

Отже, зростає відповідальність у прийнятті технічних рішень і прогнозі складових зміни стану масиву в процесі ведення гірничих робіт набуває ще більш високу значимість. Тому необхідно розробляти методи, які дозволяли б

оперативно здійснювати досить достовірний для потреб практики прогноз проявів гірського тиску в конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах експлуатації підготовчих виробок.

2.2. Розвиток геомеханічних моделей дослідження стану системи «порідний масив - кріплення виробки»

При вирішенні завдань геомеханіки постійно доводиться стикатися з проблемою розрахунку систем, що мають складну геометричну конфігурацію і нерегулярну фізичну структуру. Гірський масив і породи які складають його мають велике число характеристик, облік яких при математичному моделюванні можливий тільки при використанні кінцево-різницевої схем розрахунків. В даний час стандартом де-факто при вирішенні геомеханічних задач став метод кінцевих елементів (МКЕ).

З кінця 60-х і до середини 80-х років ХХ століття виконані великі дослідження вченими-механіками, які заклали основу методології застосування МКЕ до вирішення завдань геомеханіки в пружною і пружно-пластичній постановці. У цей період основною проблемою, що перешкоджає широкому застосуванню МКЕ в геомеханіки, стала невідповідність між складністю створених математичних моделей і обчислювальними потужностями комп'ютерів.

Основи методології рішення методом кінцевих елементів великої кількості різноманітних завдань математичної фізики. Для вирішення фізично нелінійних задач було запропоновано три варіанти методу збільшень: змінної жорсткості, початкових напружень і початкових деформацій. Всі завдання розглядаються як плоскі, а в основу рішення покладено метод переміщень з використанням ізопараметричних кінцевих елементів.

В роботі Фадеева А.Б. значна увага приділена обліку неоднорідності фізико-механічних показників порід, що складають гірський масив. Проведено класифікацію математичних моделей порід по їх міцності. Показана методика інтегрування математичних моделей порід в розрахункову схему методу скінченних елементів. Особливо слід виділити рішення задачі визначення НДС

гірського масиву з урахуванням повної діаграми «напруження-деформації». Запропонована методика пошуку рішення за допомогою методу фіктивних зусиль добре узгоджується з енергетичними уявленнями про рівновагу суцільного середовища в позамежному стані матеріалу.

За допомогою МКЕ проведено аналіз поведінки покрівлі очисної виробки в однорідному тонкослоїстому породному масиві. Результати були отримані для вирішення плоскої задачі в пружною постановці.

При цьому автори використовували алгоритм масштабного збільшення переміщень, запропонований Л.Сегерліндом. Проведено порівняльний аналіз розподілу напружень в однорідному і тонкослоїстому гірському масиві. У рішенні враховувалося взаємне проковзування шарів без тертя на майданчиках контакту. Отримані результати були використані для вирішення основного поставленого завдання, а саме, визначення геометричних параметрів зони просідання покрівлі над очисним забоєм.

Математичне моделювання методом кінцевих елементів процесу зародження зони руйнування порід поблизу виробка і закономірності її формування в області перерозподілу напружень виконано в роботі [10]. Методом кінцевих елементів вивчено [12] просторове напружено-деформований стан при зведенні кріплення-оброблення в забої виробки. Рішення завдання виконувалося при різних геометричних параметрах неоднорідного шаруватого масиву для виробка круглого перерізу, розташованої в слабких глинистих породах.

Методика, що дозволяє уникнути ітераційного процесу при вирішенні нелінійної задачі геомеханіки, наведена в роботі [13]. Розроблена процедура, яка об'єднує методи змінних параметрів пружності і початкових деформацій.

Комбінований метод розрахунку напружено-деформованого стану гірського масиву розроблений на основі спільного використання різних кінцево-різницевого методів. Запропонована методика розширює можливості розрахунку гірських масивів в нелінійній постановці, але автори не наводять математичну формулювання завдання, що забезпечує перехід при вирішенні

завдання з однією кінцево-різницевої моделі в іншу. Зокрема, залишається не розкритою одна з основних проблем - визначення граничних умов на майданчиках контакту різних кінцеворізницевоїх схем.

В роботі Ламоніна Є.В. розроблена методика розрахунку породного масиву, ослабленого декількома системами тріщин. Створено математичну модель міцності матеріалу, що враховує вплив кута нахилу системи тріщин, розсікають породу. Запропонована чисельна модель масиву, порушеного системами тріщин, дає можливість наочно і з достатнім ступенем точності оцінити напружено-деформований стан тріщиноватого масиву.

У роботах Павлової Л.Д. розглянуті аспекти моделювання об'ємного граничного напруженого стану вуглепородного масиву при підземній відпрацьовуванні світи пластів. У процесі розрахунків враховуються кут внутрішнього тертя порід, кут падіння пластів, фізико-механічні характеристики окремих породних пластів. Як критерій втрати міцності використовується узагальнений критерій Кулона-Мізеса, що дозволяє істотно спростити процедуру визначення межі зони порушених порід.

З наведеного огляду видно, що використання методу скінченних елементів при вирішенні завдань геомеханіки знаходить все більш широкий діапазон застосування. Постійно удосконалюється і ускладнюється методика проведення розрахунків за допомогою МКЕ. Рішення об'ємної задачі в пружно-пластичній постановці в геомеханіці стало нормою [8]. У багатьох випадках дослідники враховують велике число чинників і їх комбінації, які мають характеристики локальних збурень системи. Розвиток математичних моделей направлено на пошук доступною точності розрахунку, проведеного за класичними методиками, але враховує максимум можливої кількості уточнюючих даних.

По суті аналізу робіт, присвячених кінцево-різницевого моделювання геомеханічних процесів в околиці підземних виробок, чітко простежуються такі тенденції розвитку даного напрямку досліджень:

По-перше, найбільш широко використовується метод кінцевих елементів, що має найбільш універсальні можливості. (Однак, при вирішенні складних геомеханічних задач, одночасно розглядають многофакторність механічних властивостей порід, неоднорідності структури вміщує масиву і геометричних параметрів об'єкта, можлива комбінація МКЕ, методу граничних елементів, (МГЕ) і методу дискретних елементів (МДЕ) для отримання більш достовірного рішення. Основна складність застосування такої комбінації полягає в об'єктивному відображенні фізичної сутності процесу на кордоні сполучення елементів моделі, які досліджуються різними кінцево-різницевиими методами).

По-друге, багато завдань вимагають просторової постановки для більш достовірного відображення геомеханічних процесів, що і спостерігається на сучасному етапі оцінки стану масивів гірських порід.

По-третє, все більше число робіт присвячується обліку неоднорідності механічних характеристик масиву і його структури, має велике значення впливає на результати розрахунку поля НДС навколо виробок, як це було встановлено при дослідженні широкого кола завдань.

По-четверте, неухильно розширюється кількість робіт, в яких враховується не тільки пластичні і реологічні властивості гірських порід, а й повна діаграма їх деформування (граничне і позамежне стану), що, на думку автора, підвищує достовірність розрахунків і наближає геомеханічну модель до реального об'єкту.

Можна виділити три основні групи факторів, що впливають на розвиток методики застосування МКЕ в задачах геомеханіки:

- опис фізико-механічних характеристик порід - постійно триває ускладнення описової частини характеристик порід різного типу і умов їх залягання;
- аналіз технологічних чинників будівництва і експлуатації шахт і підземних споруд - розробка нових типів і методик використання початкових і граничних умов, що застосовуються в розрахунковій моделі;

Коригування теорій міцності і пластичності, які використовуються при комп'ютерному моделюванні - особливості кінцеворізнених схем дозволяють модернізувати умови переходу і розвитку зон граничного і позамежного стану матеріалу, одержуваних в ході розрахунку МКЕ.

2.3. Технологія обчислювального експерименту для вирішення задач геомеханіки

Отримання надійних, якісно і кількісно адекватних результатів обчислювального експерименту для задач геомеханіки можливо тільки з комплексним урахуванням широкого спектра характеристик математичної моделі, ряд яких повинен проходити оптимізацію для кожної серії виконуваних розрахунків і забезпечувати при цьому збіжність обчислень з низькими значеннями привнесених похибок.

Розглянемо детальніше процедуру створення геометричних об'єктів. Спочатку паралельно створюються моделі елементів кріплення і породних шарів, використовуваних при складанні моделі гірського масиву. Вид елементів кріплення і їх якісна складова в розрахунковій схемі прямо залежить від вибору методу розв'язання задачі (в лінійній або нелінійній постановці), оцінки поздовжньої складової НДС гірничої виробки і ступенем необхідної точності одержуваних результатів в зоні гірського масиву, що безпосередньо примикає до контуру виробки.

Процес створення моделей породних шарів ґрунтується на виборі глобальних умов контакту між поверхнями різних геометричних елементів обраній розрахунковій схемі. Якщо модель гірського масиву складається з декількох модельних шарів (їх число може перевищувати число породних шарів) приходиться робити так звану збірку гірського масиву. Збірка полягає в створенні просторової моделі, яка описує гірничо-геологічні умови в зоні впливу виробок і встановлює межі розрахункової зони конкретного завдання. У разі, коли модель гірського масиву розглядається як однорідна, етап складання гірського масиву не потрібна і відбувається перехід безпосередньо до формування контуру гірничої виробки.

Формування контуру виробки визначає умови установки елементів кріплення. Крім того, відбувається прив'язка виробок і їх сполучень до гірничо-геологічній структурі гірського масиву. Структурно-логічні помилки, що виникають при формуванні контуру виробки, призводять до неможливості правильного сполучення елементів кріплення і гірського масиву.

В кінці першого етапу відбувається поєднання елементів кріплення з контуром виробка. Цей етап досить трудомісткий і значною мірою є визначальним при вирішенні завдань зі змінною поверхнею контакту. Якщо в розрахунках не планується використання елементів кріплення, як частин розрахункової схеми, блоки «Елементи кріплення» і «Установка кріплення виробки» ігноруються.

Другий етап актуалізації розрахункової схеми не має яскраво вираженої структуризацією і, по суті, полягає в двох неодноразово виконуваних операціях - формування бібліотечних модулів опису властивостей матеріалів і прив'язування властивостей матеріалів до конкретних елементів розрахункової схеми. На цьому етапі визначається тип завдання (лінійна, нелінійна і т.п.), на основі якого буде проводитися наступний обчислювальний експеримент. Якщо при оптимізації розрахункової схеми виникне необхідність змінити тип завдання, доведеться повторно розробити бібліотеки матеріалів і виконати прив'язку властивостей матеріалів до елементів розрахункової схеми.

Найбільш трудомісткий і вимагає високого рівня професійної підготовки етап - оптимізація розрахункової схеми. Він складається з трьох взаємопов'язаних кроків, кожен з яких реалізує один і той же алгоритм дій, що застосовуються до різних показників розрахункової схеми. Суть даного алгоритму полягає в наступному: задаємо конкретні значення обраних показників (для першої ітерації вибираємо значення виходячи з попереднього досвіду); виконуємо тестовий розрахунок; якщо результат розрахунку задовільний, переходимо до оптимізації наступної групи параметрів; при незадовільному результаті проводимо додатковий аналіз отриманих даних і на його підставі вибираємо нові значення аналізованих показників; повертаємося

до початку циклу.

Оптимізація параметрів зовнішніх розмірів моделі полягає у виборі таких значень висоти, ширини і глибини, при яких вплив граничних умов на результат обчислювального експерименту мінімізується, з одного боку, а з іншого, - мінімізується крок збільшення при визначенні розрахункових точок. І схема навантаження, і умови контакту елементів моделі оптимізуються на підставі зниження локальних збурень, що виявляються в зонах сполучення елементів моделі і поверхонь, що сприймають зовнішні навантаження.

У висновку, створена розрахункова схема, повністю або в своїй основі задовольняє умовам постановки задачі, використовується як основа виконання обчислювального експерименту. Будь-які зміни розрахункової моделі в ході обчислювального експерименту знаходяться в межах робіт по її актуалізації і носять приватний характер, зумовлене особливості конкретного обчислювального експерименту. У разі, коли обчислювальний експеримент не можна виконати в повному обсязі при існуючій розрахункової схемою, така схема розглядається як неадекватна і вимагає повторної актуалізації.

2.4. Дослідження розрахункової моделі обчислювального експерименту

У Західному Донбасі практично повсюдно поширений погоризонтний спосіб підготовки шахтного поля, при якому основними підготовчими виробками є пластові штреки, що перетинають вугільний пласт з кутом падіння $\alpha = 1...6^\circ$ [5]. Дільничні пластові виробки (хідники) проводяться, крім верхнього, також з нижнім підриванням для поліпшення умов перевантаження вугілля з забійного конвєсера на скребковий конвєсєрний штреку. Щоб охопити розташування щодо вугільного пласта всіх пластових виробок, побудована більш загальна геомеханическая модель штреку, проведеного з підриванням покрівлі і ґрунту, з якої легко отримати окремий випадок пластової виробки шахт Західного Донбасу.

Механічні характеристики породних шарів детально досліджені в роботах [10, 11], аналіз яких дозволив вибрати (на 85 ... 90%) такі інтервали їх

зміни в шаруватій Вуглевмісній товщі порід (породні шари нумеруються починаючи від вугільного пласта, індекси

«П» - покрівля, «Г» - підшва пласта: модуль деформації $E_i^{K,II} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\mu_i^{K,II} = 0,25$; опір стискуванню $\sigma_{сж}^{K,II} = 10...40$ МПа. Механічні характеристики вугільних пластів практично постійні: $E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$ $\sigma_{сж}^y = 30...40$ МПа.

Наступним етапом обґрунтування геомеханічної моделі є оцінка параметрів вироблень (дільничних і основних підготовчих) пластів і їх крепи. На шахтах Західного Донбасу застосовуються дві серії типорозмірів поперечних перерізів гірських виробок з кріпленнями КМП-А3 і КШПП Типові перерізи КМП-А3 - 9,2; 13,8; 18,3 і КШПП-10,5; 14,4; 17,7 охоплюють практично увесь інтервал перерізів виробок пластів, що проводяться, а тестові розрахунки показали їх істотний вплив, особливо, на полі переміщень поблизу виробка, що є предметом досліджень в подальших розділах дисертації.

Рамна кріплення моделюється реальною геометрією поперечного перерізу СВП з товщиною спец профілю (123 мм для СВП-27 і 137 мм для СВП-33) і шириною (149,5 мм для СВП- 27 і 166 мм для СВП- 33). Спецпрофіль виготовляється із сталі Ст5 з механічними характеристиками: розрахункова межа плинності $\sigma_T = 270$ МПа, модуль пружності $E_p = 21 \cdot 10^4$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu_p = 0,3$. Залізобетонне затягування моделюється з реальними параметрами: довжина - 500 мм, ширина - 200 мм, товщина 50 мм; модуль деформації матеріалу затягування $E^z = 2 \cdot 10^4$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu^z = 0,2$. Дільничні підготовчі виробка мають крок установки рам 0,7, 0,8 м і, як правило, для міжрамного обгороджування використовується дерев'яне затягування з модулем деформації $E^z = 1,1 \cdot 10^4$ МПа.

Для відвертання інтенсивного втискування в слабкі породи підшви стійок рами їх встановлюють на під'ятники, які моделюються плитою

завтовшки 20мм квадратної форми розміром 200х200 мм Відповідно до паспорта проведення будь-якого виробка закріпний простір має бути ретельний забутовано гірською породою або, як це поширено в Західному Донбасі, заповнено тампонажним розчином. Середньостатистична ширина закріпного простору по проектних рішеннях для Західного Донбасу прийнята рівною $\delta_{3.П} = 200$ мм. Деформаційні характеристики порідного забутування в першому наближенні можна оцінити $E^{заб} = 50$ МПа $\mu^{заб} = 0,25$. Механічні характеристики тампонажного каменю змінюються в інтервалі $\sigma_{сж}^{3.П} = 5...20$ МПа $E^{3.П} = (1...2) \cdot 10^4$ МПа $\mu^{3.П} = 0,25...0,3$.

Розташування виробка відносно вугільного пласта може виконуватися з нижнім підриванням до 1,0...1,3 м або без такої. Тому в моделі проаналізований вплив величини нижнього підривання від 0 до 1,3 м і виявлений, що, моделюючи підривання 0,9 м з боку повстання пласта, змінюються погрішності до 10% поля НДС системи в районі опор стійок рамної крепи; у інших областях моделі погрішність набагато нижча.

Завершальний етап обґрунтування початкових параметрів моделі торкається таких гірничо-геологічних чинників, як кут падіння α вугільного пласта і глибина H розташування виробка. На шахтах Західного Донбасу кут падіння пластів змінюється в межах $\alpha = 1...6^\circ$ зі значенням, що найчастіше зустрічається $\alpha = 3...4^\circ$ яке і прийняте постійним ($\alpha = 4^\circ$) у усіх подальших дослідженнях. Нині глибина розробки в Західному Донбасі змінюється від 90 до 585 м. Враховуючи відпрацювання верхніх пластів, що розташовуються на глибині до 200 м, досліджуваний діапазон зміни глибини розташування виробка прийнятий в інтервалі від 200 до 600 м.

В результаті за усіма початковими параметрами виконано геомеханічне обґрунтування моделі для визначення НДС шаруватого масиву слабких порід навколо підготовчого виробка виконана оцінка максимально достатніх (для адекватного відображення) розмірів моделі по вертикальній $У$ горизонтальній

X і осьовій Z координатам. Критерій - компоненти напруги на межах моделі не більше ніж на 10% відрізняються від початкового негідростатичного стан.

$$\sigma_y = \gamma H ; \sigma_x = \lambda \gamma H , \quad (2.1)$$

де $\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$; γ - середньозважена об'ємна вага породи.

Для вибору розмірів побудована тестова модель істотно неоднорідної складної вуглевміщаючої товщі з реальним відображенням усіх конструктивних елементів рамного кріплення КШПП (спецпрофіль СВП- 27, залізобетонне затягування, під'ятники під стійками, породне забутовування закріпного простору). Аналіз епюр компонент напруги (на рис. 3.1 і рис. 3.2 приведені обмежені по розмірах епюри ближньої до виробка частини масиву) дає наступні результати для розмірів моделі $Y = 80\text{м}$ $X = 60\text{м}$ $Z = 3\text{м}$ (7 рам, встановлених уздовж виробка з кроком 0,5 м).

Уздовж верхньої і нижньої межі моделі (глибина розташування осі виробка $H = 200\text{м}$ $\gamma = 25$ кН/м³) встановлюється практично рівномірний (відхилення до 0,3%) розподіл вертикальної компоненти σ_y приблизно, удвічі меншому розташуванні бічних меж моделі. У покрівлі і подошва утворюються зони розвантаження, у боках - опорний тиск, що цілком узгоджується з існуючими геомеханічними дослідженнями. Горизонтальна напруга σ_x стабілізуються з відхиленнями до 5,7% на верхній і нижній межах моделі по відношенню до $\lambda \gamma H$ незайманого масиву. На бічних межах моделі є коливання σ_x до 9,2%, що пояснюється виникненням додаткової напруги, що вигинає σ_x від прогину породних шарів у напрямі порожнини виробка і не суперечить класичним положенням механіки підземних споруд - найбільш інтенсивний вигин породних шарів відбувається поблизу виробка і істотно посилюється (як це буде показано надалі) при прослизанні породних шарів один відносно одного. Також звертає увагу об'єктивно існуючий факт підвищеної стискуючої напруги σ_x у вугільному пласті, що має більшу жорсткість і збільшений

коефіцієнт Пуассона порівняно з порідними шарами, що характерно для гірничо-геологічних умов Західного Донбасу.

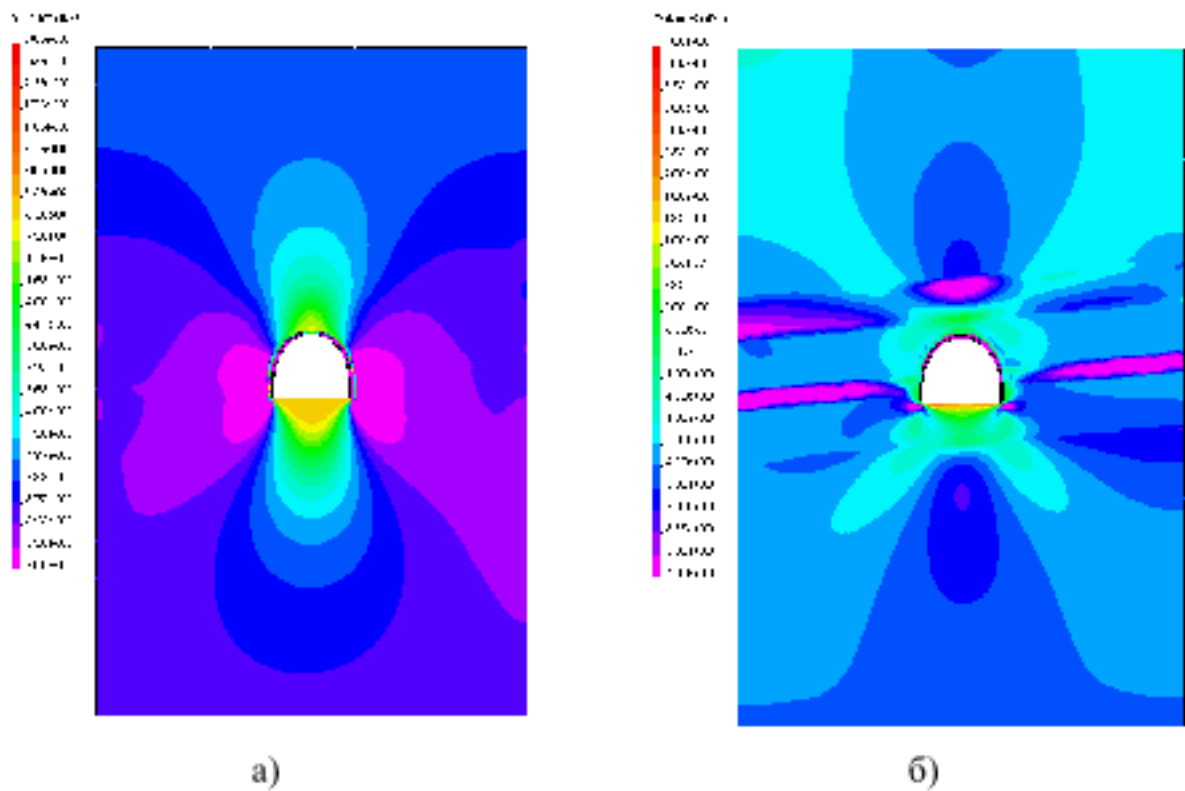


Рис. 2.1. Розподіл а) вертикальних σ_y і б) горизонтальних σ_x напруг в околиці штреку пласта без порушення контакту між породними шарами

По епюрах дотичних τ_{xy} і приведених σ (за законом Кулона-мору) напруги проаналізована достовірність моделі на предмет відповідності класичним представленням геомеханіки деформації порідного масиву навколо виробка. Дотична напруга в порідному масиві має обурення в околиці виробка на глибину до двох її ширини l_v а на межах моделі практично зникають, що обумовлено рисим кутом падіння вугільного пласта і несуттєвою різницею між векторами головної напруги σ_1 і σ_2 а також векторами напруги σ_y і σ_x . При цьому спостерігається симетрична зміна знаку дотичної напруги практично по вертикальній осі виробка. Ці результати тестування моделі вказують на відповідність результатів класичним положенням механіки твердого тіла, що деформується.

Аналіз епюри розподілу приведеної напруги показує їх повну стабілізацію на нижній межі моделі, на верхній межі моделі коливання σ відносно невеликі (до 7,1%) і обумовлені прогином породних шарів в порожнину виробка. Поблизу штреку спостерігається яскраво виражена область розвантажених порід в покрівлі і підшва, а у боках виробка є концентрація напруги, що інтенсифікує процес здуття ґрунту в слабких породах. Ці результати узгоджуються з представленнями, що склалися про геомеханічні процеси в околиці виробка.

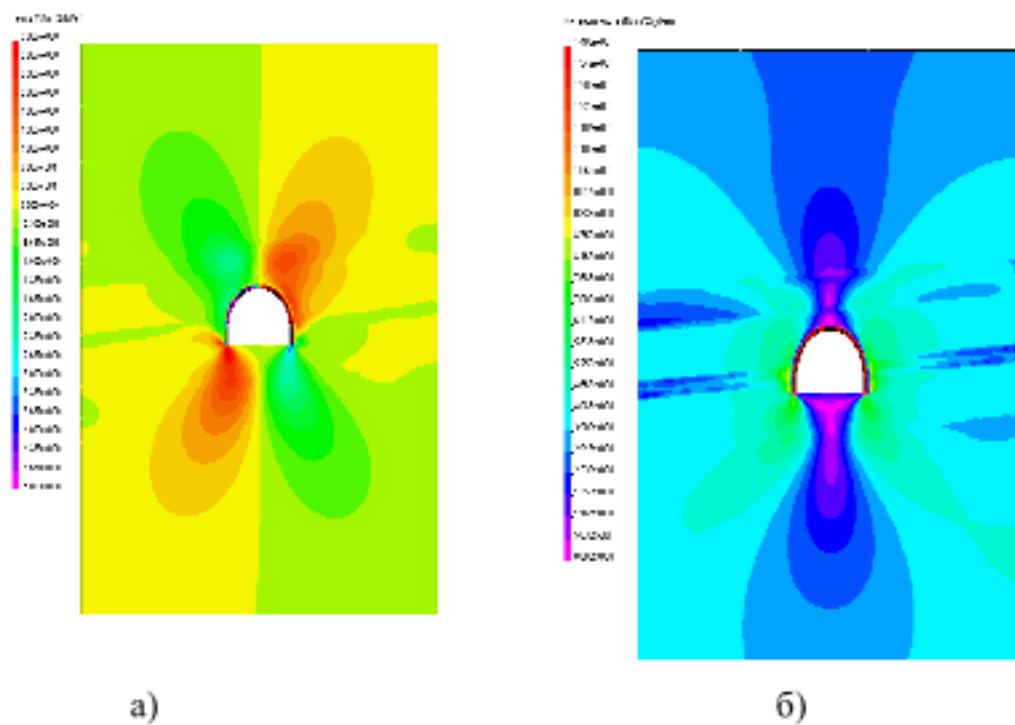


Рис. 2.2. Розподіл а) дотичних τ_{xy} і б) приведених σ напруг в околиці штреку пласта без порушення контакту між породними шарами

Тестовими розрахунками встановлено, що на осьовій координаті Z досить моделювання 7 рам; тоді крайові ефекти (коливання компонентів НДС більше 10%) спостерігаються тільки в крайніх і (по деяких компонентах) в сусідніх з крайніми рамами, а поле НДС в трьох центральних рамах і

приконтурному масиві залишається практично незмінним при 7 і більше рамах по координаті Z .

Підсумовуючи цей етап обґрунтування моделі, слід протестувати епюри розподілу компонент напруги в рамному кріпленні (див. рис. 2.1 і рис. 2.2) на предмет їх якісної відповідності існуючим представленням і результатам досліджень. У рамному кріпленні в околиці замку зведення горизонтальна напруга σ_x мають близькі до максимуму значення і міняють знак від розтягування у внутрішніх волокнах до стискування в зовнішніх, що вказує на наявність максимуму моменту, що вигинає, деформує раму всередину виробка. Максимуми вертикальної напруги σ_y розташовуються ближче до опори стойки рами і також міняють знак по товщині перерізу, формуючи момент, що вигинає, деформує раму у бік порідного масиву. Найбільші значення приведеної напруги σ також розташовуються в околиці замку зведення і у боках рами на ділянці між п'ятою зведення і опорою стойки. Численні шахтні спостереження підтверджують появу пластичних деформацій, і руйнування рамної крепи на відмічених ділянках.

Таким чином, вказані розміри моделі цілком задовільні за критерієм допустимого в гірничотехнічних розрахунках створення початкового поля напруги на її межах. В межах цих розмірів моделі довколишню покрівлю вугільного пласта представляють (у 87...92% випадків) два-три порідні шари, складені слабкими аргиллитами, алевролитами і піщаниками. Довколишня підосва у більше, ніж 90% випадків складається з одного-двох шарів тих же слабких гірських порід. Ці виведення побудовані на аналізі стратиграфічних колонок геологічних розрізів вугільних пластів Західного Донбасу. Крайні порідні шари покрівлі і підосви моделі мають підвищену потужність, оскільки не враховують рисопотужні прошарки (до 0,1...0,3 м), що роблять незначний вплив на досить однорідні механічні характеристики крайніх шарів моделі.

Метод кінцевих елементів передбачає побудову нової моделі кожного разу при зміні яких-небудь її геометричних параметрів, що істотно ускладнює і

збільшує об'єм обчислень. Тому бажано обмежитися по-можливості меншою кількістю варіантів структури шаруватого масиву в околиці штреку при максимальному їх охопленні реальної будови вуглевмісної товщі порід Західного Донбасу. Відповідно до цього по стратиграфічних колонках вугільних пластів шахти «Західно-Донбаська» були побудовані три схеми I, II і III, які приведені на рис. 2.3. Принцип їх побудови вибраний такий: схема I характеризує, хоча і в деякій мірі усереднену, але не переважаючу структуру порід в околиці штреку, представлену шарами зниженої потужності; схема II характеризує протилежну (що також не переважає) структуру з потужніших породних шарів; схема III найбільш характерна для вуглевмісної товщі Західного Донбасу, проте не є всеосяжною. Тому для максимально достовірного опису НДС вуглевмісних порід проведені розрахунки для кожної з трьох схем і проаналізовані особливості їх поля напруги. Потужності вугільних пластів змінюються в діапазоні від 0,7 до 1,2 м.

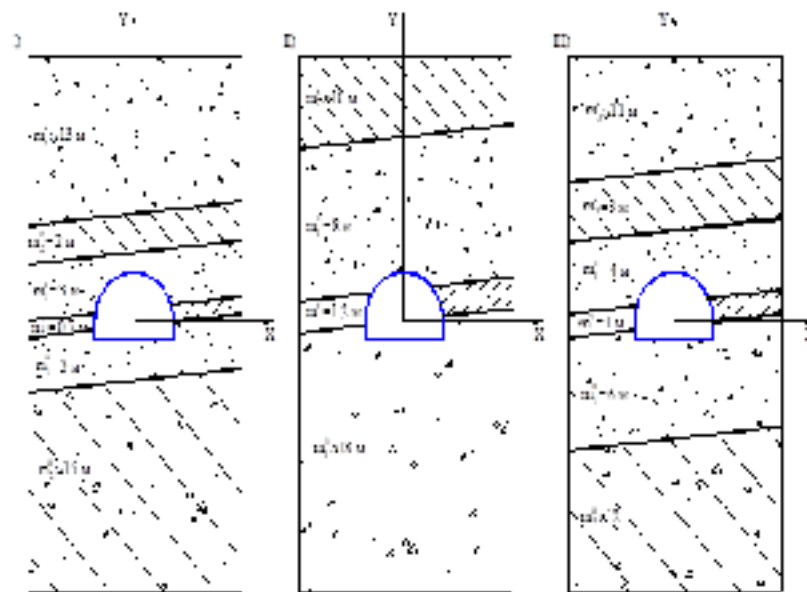


Рис. 2.3. Моделі структури вуглевмісної товщі порід шахти «Західно-Донбаська» з найбільш поширеним інтервалом $m^y = 0,7 \dots 1,2$ м.

Будова вуглевміщаючої товщі характеризується, окрім вказаних параметрів, також силами зчеплення між окремими шарами. Загальновідомо, що зв'язок породних шарів по площинах нашарування відрізняється низькими

прочностними характеристиками(особливо в слабких породах Західного Донбасу) : опір розтягуючим зусиллям практично відсутній, а опір зрушенню знижений іноді на порядок і більше в порівнянні з породою самого шару. Тому умови сполучення суміжних шарів обґрунтовані на предмет можливості порушення їх контакту в процесі деформації і переміщення(прослизання) один відносно одного по площинах нашарування.

Для усіх трьох моделей розрахунок НДС виконаний по двох варіантах: без порушення контакту між шарами і при їх взаємному прослизанні. Спочатку (до проведення виробки) зв'язок між порідними шарами не порушений, тому оцінена дотична напруга τ_{xy} по площинах нашарування за умови цілісності контакту. Максимуми τ_{xy} розташовуються на лініях, нахилених до вертикальної осі виробка під кутом $\pm 25...30^\circ$ незалежно від структури вуглевмісної товщі порід і їх деформаційних характеристик. Також загальною закономірністю є підвищена концентрація τ_{xy} у околиці виробка на глибину до півтора ширина l_v виробка при $H = 200$ м, яка збільшується із зростанням глибини розташування виробки.

Для первинного аналізу НДС розглянуті три варіанти (А, Б і В) механічних характеристик вуглевмісної товщі порід, які зведені в таблицю 2.1.

Заздалегідь слід зазначити, що в силу вказаних вище причин сили зчеплення по площинах нашарування невеликі і складають десяті долі (рідше за одиницю) МПа.

Таблиця 2.1

Варіанти співвідношення деформаційних характеристик
вуглевмісної товщі в тестових моделях

Порідні шари вуглевмісної товщі	Деформаційні характеристики породних шарів і вугільного пласта по варіантах		
	«А»	«Б»	«В»
Перший порідний шар підшви m_1^H	$E_1^H = 0,1 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^H = 0,25$	$E_1^H = 0,5 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^H = 0,25$	$E_1^H = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^H = 0,25$
Другий порідний шар підшви m_2^H	$E_2^H = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^H = 0,25$	$E_2^H = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^H = 0,25$	$E_2^H = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^H = 0,25$
Вугільний пласт m^y	$E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$	$E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$	$E^y = 0,35 \cdot 10^4$ МПа $\mu^y = 0,35$
Перший порідний шар покрівлі m_1^K	$E_1^K = 0,1 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^K = 0,25$	$E_1^K = 0,5 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^K = 0,25$	$E_1^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_1^K = 0,25$
Другий порідний шар покрівлі m_2^K	$E_2^K = 0,5 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^K = 0,25$	$E_2^K = 0,1 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^K = 0,25$	$E_2^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_2^K = 0,25$
Третій порідний шар покрівлі m_3^K	$E_3^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_3^K = 0,25$	$E_3^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_3^K = 0,25$	$E_3^K = 0,28 \cdot 10^4$ МПа $\mu_3^K = 0,25$

Встановлено, що при $H = 200$ м в області до $1,5l_e$ дотичні напруги $\tau_{xy} = 4...5$ МПа перевищують сили зчеплення породних шарів по площинах нашарування, що призводить до порушення їх контакту і прослизання один відносно одного. Цей чинник посилюється із зростанням глибини розташування виробки. Звідки слідує логічний висновок про те, що для підвищення достовірності моделювання необхідно розглядати шари з порушеними контактами і ввести умову можливості їх прослизання один відносно одного.

Також слід зазначити високу концентрацію τ_{xy} (від - 83 МПа до +81 МПа) стабільно розташовану в опорах стійкі рами, що необхідно враховувати при оцінці її стійкості.

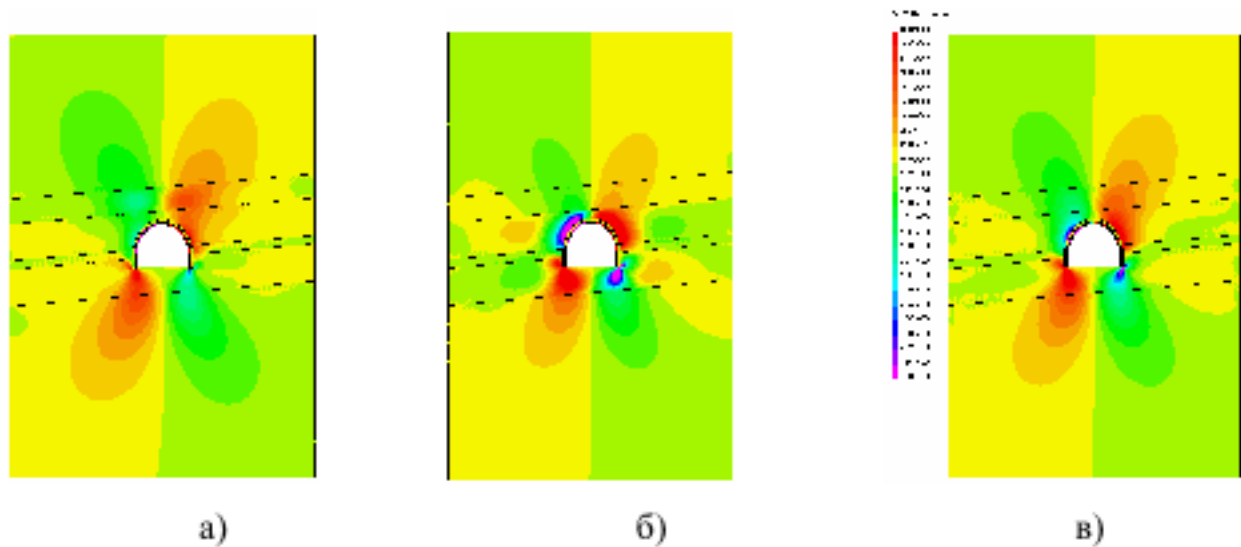


Рис. 2.4. Епюри дотичної напруги в моделі I при прослизанні породних шарів на глибині $H = 200\text{м}$: а - варіант А; б - варіант Б; в - варіант В

Відповідно до отриманих результатів наступним етапом досліджень був виконаний розрахунок НДС (при прослизанні шарів) трьох моделей по варіантах А, Б і В співвідношення деформаційних характеристик породних шарів вуглевмісної товщі. Аналіз розподілу дотичної напруги τ_{xy} при прослизанні породних шарів найнаочніше ілюструється «дрібнослоїстий» (рис. 2.4) моделлю I і «крупнослоїстий» моделлю II (рис. 2.5) при $H = 200\text{м}$. Загальною рисою впливу прослизання шарів є збільшення максимумів τ_{xy} на практично постійну величину в 1,64 до 1,77 разу незалежно від структури вуглевмісної товщі і деформаційних властивостей породних шарів, що складають. Причому, область поширення підвищених τ_{xy} залишається майже незмінною (зростання не більше ніж на 5...10%) порівняно з непорушеним контактом між шарами. Примітним є факт розподілу τ_{xy} по потужності кожного порідного шару з максимумом посередині і мінімумом на їх поверхнях, що узгоджується з класичними рішеннями, тоді як для моделі без прослизання шарів відбувається досить плавна зміна τ_{xy} при перетині сусідніх

шарів. Очевидно, прослизання сусідніх шарів один відносно одного в околиці виробка посилює прояви гірського тиску і облік цього явища в геомеханічних моделях об'єктивно потрібний.

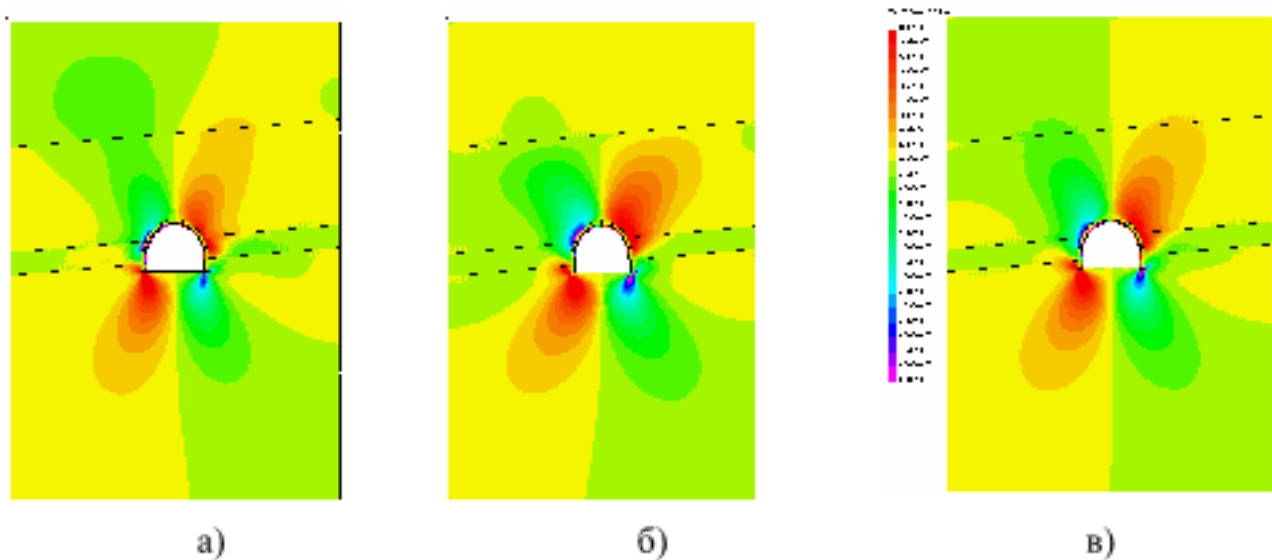


Рис. 2.5. Дотична напруга в моделі II при прослизанні породних шарів на глибині $H = 200\text{м}$: а - варіант А; б - варіант Б; в - варіант В

Порівняння трьох моделей за величиною дотичної напруги проведене по значеннях максимумів τ_{xy} різниця між якими найбільш значима, чим в інших областях моделей. Відмічено, що максимуми τ_{xy} істотно залежать від співвідношень деформаційних характеристик шарів, причому найвищі значення максимумів придбавають різні моделі (при зміні $E_i^{K,II}$), що вимагає детальнішого аналізу. Найбільш «різнополюсні» моделі I і II мають найбільші відхилення максимумів τ_{xy} : від 7,0 до 17,6% для варіанту А, від 18,6 до 19,5% для варіанту б і від 1,7 до 7,8% для варіанту В. Порівняння моделей I і III (рис. 2.6) дає наступні відхилення максимумів τ_{xy} : від 4,7 до 12,6% для варіанту А, від 9,8 до 11,6% для варіанту б і від 0 до 4,9% для варіанту В. При порівнянні максимумів τ_{xy} моделей II і III отримані такі результати відхилень

: від 2,2 до 4,3% для варіанту А, від 8,6 до 11,2% для варіанту б і від 1,7 до 3,4% для варіанту В.

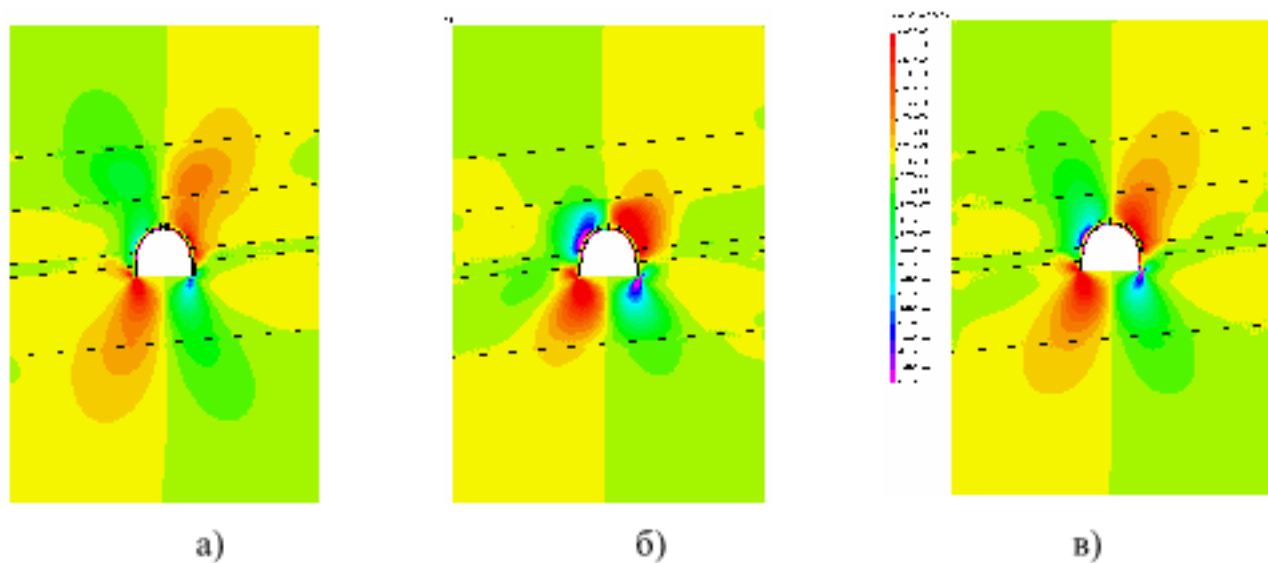


Рис. 2.6. Дотична напруга в моделі III при прослизанні породних шарів на глибині $H = 200\text{м}$: а - варіант А; б - варіант Б; в - варіант В

Таким чином, якщо в якості базової прийняти модель III та більшість відхилень максимумів τ_{xy} потрапляють в інтервал до 10%, який вважається цілком допустимим при гірничотехнічних розрахунках. Ще більше переваг моделі III дає той факт, що відхилення τ_{xy} у не максимальних областях істотно менше.

Порівняння епюр σ_y для різних структур вуглевмісної товщі дає такі результати:

По-перше, розміри області опорного тиску і розвантаження відрізняються для різних моделей не більше ніж на 6,7%.

По-друге, розтягуюча напруга в покрівлі і підшва на відповідних ділянках області розвантаження розрізняється за величиною не більше ніж на 13,1%.

По-третє, максимальна стискуюча напруга σ_y у боках виробки спостерігаються для моделі II, величина яких перевищує σ_y для моделі III на

12,2%, а для моделі I - на 27,0%. Проте розміри зони дії цих максимумів σ_y поблизу контура виробка невеликі, всього (0,03.0,04) м і не роблять вирішального значення в загальній картині поля напруги σ_y .

По-четверте, максимальна напруга σ_y стабільно розташовуються в опорах стійки рами, що має своє логічне обґрунтування в частині акумуляції опорного тиску найбільш жорсткою частиною моделі. В зв'язку з цим в перерізі стійки рами переважає стискаюча напруга σ_y які в 6,4...7,2 рази перевершують ті, що розтягують і досягають величини $\sigma_y = (357...398)$ МПа, що знаходиться за межею плинності сталі Ст5 (з якої виготовляється рама кріплення із спецпрофілю СВП). Цей факт вказує на втрату стійкості рамного кріплення вже на глибині $H = 200$ м.

По-п'яте, максимуми σ_y у стійках рами мають досить стабільне значення для різних моделей: відхилення σ_y у моделі I по відношенню до моделі III складає 8,5%, а в моделі II - 2,1%.

Одже, за результатами аналізу поля напруги σ_y можна зробити висновок про універсальність моделі III для опису структури вуглевмісної товщі порід при підвищеній їх деформаційних характеристик в шарах безпосередньої покрівлі і підшви.

Для повноти аналізу поля вертикальної напруги σ_y розрахунок НДС досліджуваних трьох моделей був зроблений при підвищеній жорсткості породних шарів безпосередньої покрівлі і підшви по варіанту B і при однорідному шаруватому масиві по варіанту B, що дає аналогічні результати.

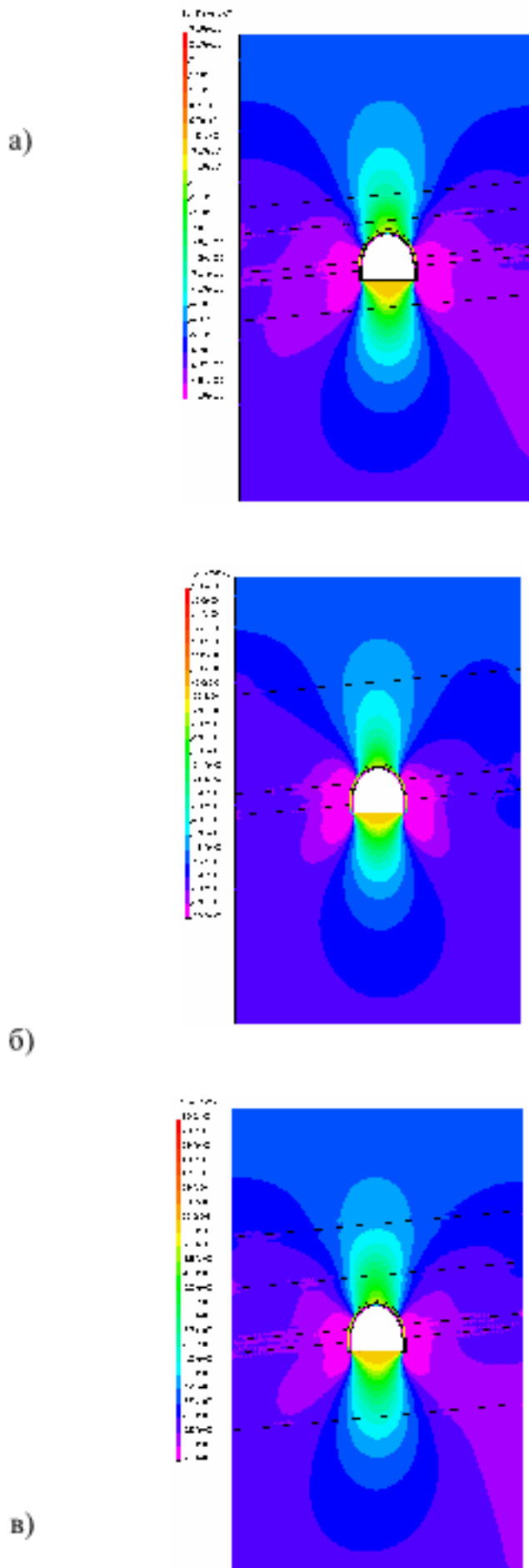


Рис. 2.7. Епюри вертикальної напруги (варіант А) при прослизанні породних шарів на глибині $H = 200\text{м}$: а - модель I; б - модель II; в - модель III

У результаті, аналіз поля розподілу вертикальної напруги σ_y дозволив сформулювати два виведення.

По-перше, модель III з достатньою для гірничотехнічних розрахунків точністю дозволяє описати структуру вуглевмісної товщі вугільних пластів Західного Донбасу.

По-друге, механічні характеристики породних шарів істотно впливають на величину σ_y у різних елементах моделі.

Аналогічно вертикальній нарузі σ_y проаналізовані поля горизонтальної напруги σ_x у усіх трьох моделях структури вуглевмісної товщі при різних поєднаннях механічних характеристик порід. На рис. 2.8 приведені епюри σ_x у моделях I II і III при поєднанні механічних характеристик шарів по варіанту А. найнаочніше проявляється напруга σ_x від дії моментів, що вигинають, в кожному шарі в околиці виробка. Відповідно до класичних представлень прогини шарів породжують додаткову горизонтальну напругу σ_x :

- у покрівлі виробки розтягуюча напруга σ_x з'являються в нижніх шарах, а що стискають σ_x - у верхніх шарах, як це і повинно бути при зміщенні порід покрівлі в порожнину виробка;
- у підшві виробка розтягуюча напруга з'являється у верхніх шарах, що вказує на переміщення порід ґрунту в порожнину виробка;
- у боках виробка чітко виражена зона опорного тиску, в якій міняється знак кривизни вигину шарів : безпосередньо на контакті з виробкам розтягування відбувається в нижніх шарах, на відстані до однієї ширини l_* виробка розтягування спостерігається у верхніх шарах.

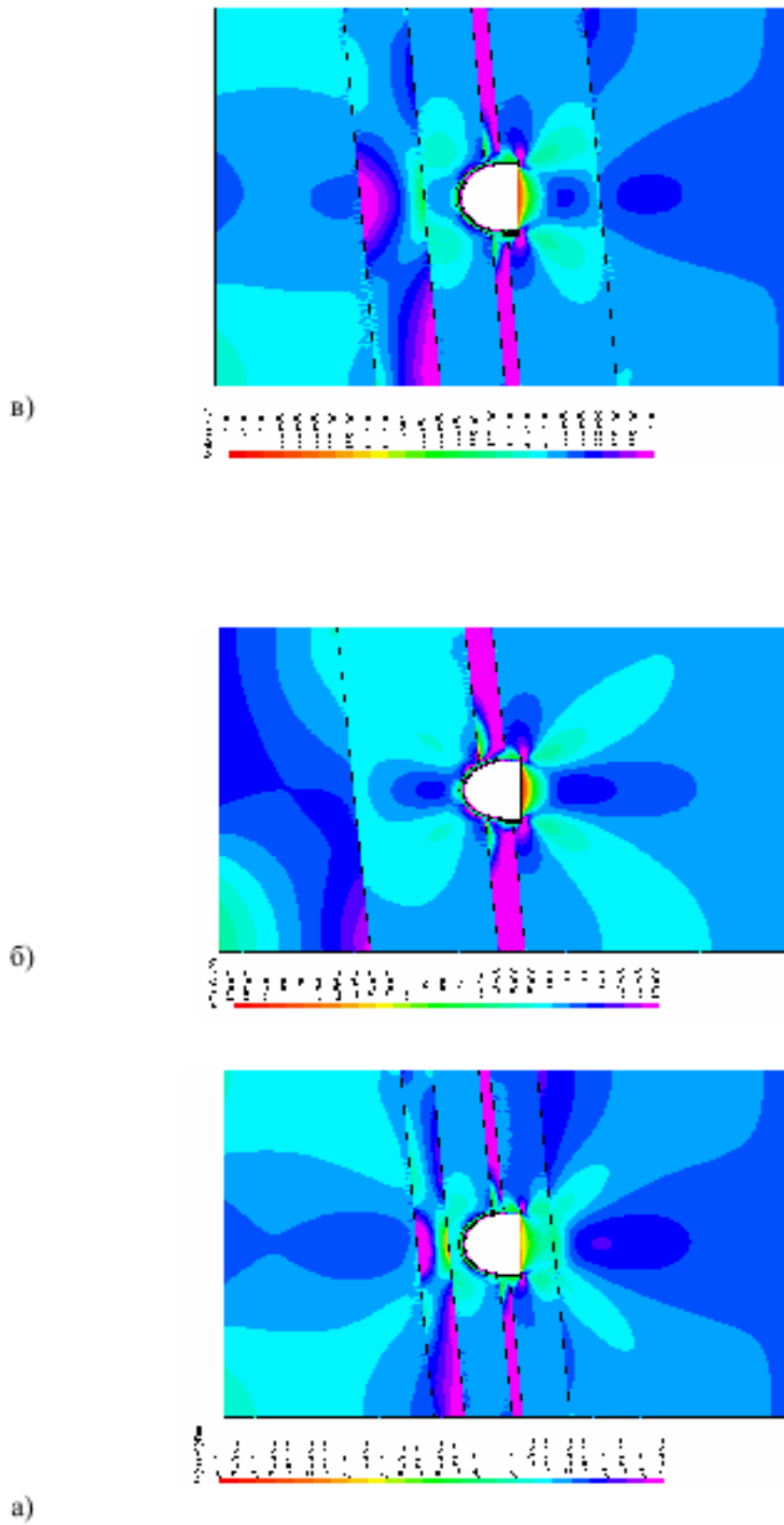


Рис. 2.8. Епюри горизонтальної напруги (варіант А) при прослизанні породних шарів на глибині $H = 200\text{м}$: а - модель I; б - модель II; в - модель III

Унаслідок відмічених особливостей деформації шарів величина горизонтальної напруги σ_x дуже сильно залежить від їх потужності [62] у зоні дії максимісських моментів, що вигинають. Тому в даних моделях, що істотно відрізняються по потужності породних шарів, величина σ_x буде різною: в потужніших - менше, в тонших - вище. Таким чином, горизонтальна напруга σ_x є єдиною компонентою, що має значні відмінності в трьох досліджуваних моделях. Проте при детальнішому порівнянні полів σ_x по окремих областях моделей можна виявити досить схожих рис не лише в якісному, але і в кількісному плані:

- у підшва виробки розтягуюча напруга σ_x поширюється на глибину до $0,25l_*$ і різниця в розмірах цих областей не перевищує 20%;
- у підшві виробки на глибині $(0,35; 0,55)l_*$ розташовується ядро стискування, величина σ_x у якому складає $(1,34; 1,56)\lambda H$ і максимісські відхилення для різних моделей не перевищують 16,7%;
- у порідному шарі безпосередньої покрівлі на висоті $(0,1; 0,25)l_*$ дії розтягуючої напруги відмінність компоненти σ_x знаходиться в межах 7...20%;
- у вугільному пласті, незважаючи на відмінності в розмірах зони дії розтягуючої напруги σ_x оцінюваною $(0,3; 0,55)l_*$ максимальний розмір відповідає моделі II), їх значення різняться в межах до 20%;
- у районі опор стійок рамного кріплення стискаюча напруга σ_x досить стабільна з відносно постійною зоною їх поширення в $(0,23; 0,35)l_*$;
- у самому рамному кріпленні аксимуми розтягуючої і стискаючої напруги σ_x для різних моделей мають незначні відхилення в межах від 4,1 до 13,6%.

Така достатня стабільність поля напруги σ_x при різній структурі углевмещаючих порід пояснюється обліком спільності деформації шарів порід, що складають товщу, при якому вплив потужності окремого шару помітно

знижується.

Для оцінки впливу деформаційних характеристик шарів моделей проведений розрахунок поля напруги σ_x для варіанту б і варіанту В. Аналіз розподілу σ_x показує їх тісний зв'язок з модулем деформації порідного шару і їх співвідношенням між сусідніми шарами. Величина напруги σ_x змінюється у декілька разів на одних і тих же ділянках моделі і полі напруги істотно перетворюється. Чим вище модуль деформації даного шару в порівнянні з сусідніми, тим більше величини σ_x : жорсткіший елемент сприймає на себе велике навантаження. Це тим більше пояснює зниження максимумів компоненти σ_x у рамній крепи в 2,63...3,95 разу при підвищеній жорсткості породних шарів безпосередньої покрівлі і ґрунту. Проте, як і у варіанті А, у варіантах Б і В різниця максимумів компоненти σ_x у різних моделях відносно невелика і складає від 4,4 до 17,8% (для варіанту Б) і від 0,3 до 8,6% (для варіанту В).

Таким чином, за результатами аналізу поля розподілу компоненти σ_x можна зробити висновок про допустимість усереднювання структури вуглевмісної товщі порід відповідно до моделі III.

На завершальному етапі цього дослідження проаналізовано поле розподілу приведеної напруги σ що є інтегральним показником інтенсивності дії усіх компонент (σ_y , σ_x і τ_{xy}) відповідно до вибраної теорії міцності Кулона-мору. На рис. 2.9 приведені епюри σ для трьох моделей I II і III при співвідношенні деформаційних характеристик шарів по варіанту А.

Співвідношення механічних характеристик породних шарів вуглевмісної товщі робить вирішальний вплив на епюру розподілу σ що цілком природно, оскільки аналогічні тенденції мають місце при аналізі компонент σ_y , σ_x і τ_{xy} .

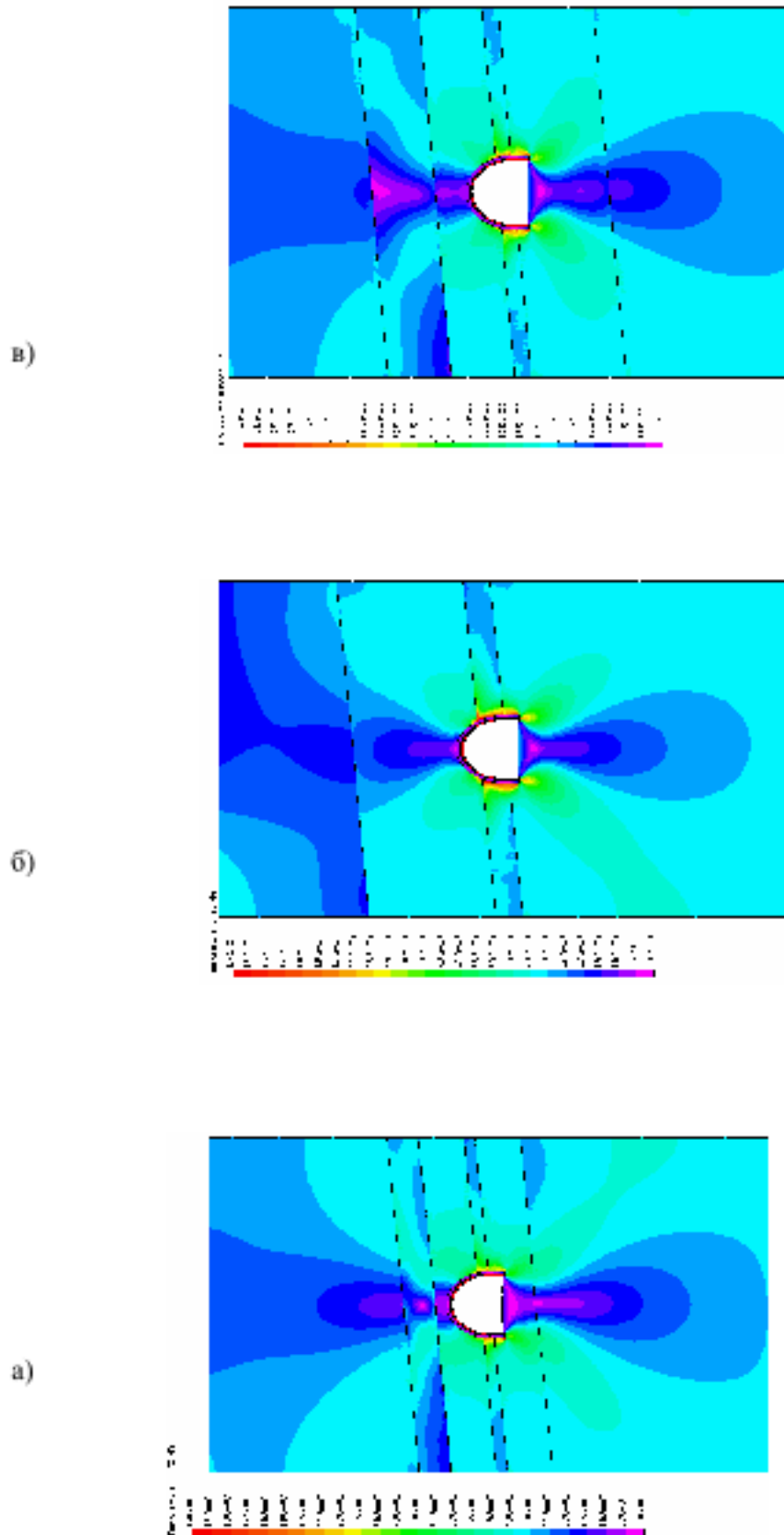


Рис. 2.9. Епюри приведеної напруги (варіант А) при прослизанні породних шарів на глибині $H = 200\text{м}$: а - модель I; б - модель II; в - модель III

Друге виведення - вже на глибині $H = 200\text{м}$ максимуми приведеної напруги σ у рамному кріпленні нерідко перевищують межу плинності сталі Ст5, що вказує на появу пластичних шарнірів, втрату стійкої форми кріплення і, як наслідок, руйнування виробки.

У результаті, встановлено, що модель III досить адекватно описує реальну структуру вуглевміщаючої товщі слабких порід шахти ім. Героїв Космосу.

2.5. Вплив геомеханічних параметрів вуглевмісного масиву на зміщення порід покрівлі та підшви виробки

В першу чергу слід підкреслити, що завдання оцінки стійкості виробки ставиться в ширшому розумінні порівняно з традиційно прийнятими представленнями: необхідно прогнозувати її стан в плані збереження (чи втрати) експлуатаційних характеристик по комплексу конструктивно-технологічних норм надійного функціонування виробки з урахуванням відповідних вимог правил безпеки. В зв'язку з цим в другому розділі сформульовані геомеханічні вимоги надійної експлуатації виробки пласта по ряду чинників (провітрювання, транспорт, пересування людей), оцінка виконання яких робиться по епюрах прогнозованих переміщень порідного контура і порівняння з допустимими переміщеннями на певних ділянках периметра виробка. Якщо не виконуються вимоги надійного і безпечного функціонування виробка, то питання її стійкості, як штучної гірничотехнічної споруди, вже стає вторинним, оскільки подальша експлуатація виробка недопустима без проведення певних ремонтно-відновних робіт.

Для реалізації цього підходу необхідно розробити методику прогнозу переміщень будь-якої точки периметра виробка пласта, тобто визначити епюру переміщень її поперечного перерізу, яка, окрім іншого, дозволяє чітко встановлювати величину втрати перерізу виробка і оцінювати надійність технологічних схем провітрювання тих або інших ділянок шахтного поля.

Необхідність розрахунку епюри переміщень по усьому поперечному перерізу також пов'язана з тим, що різні вимоги надійного і безпечного функціонування виробка торкаються різних ділянок її периметра. З іншого боку, існуючі нормативні методики дають тільки усереднений прогноз переміщень в цілому по покрівлі, бокам і підшві виробки, хоча шахтні спостереження вказують на крайню нерівномірність зрушення вуглевмісної товщі на кожній з відмічених ділянок периметра виробка.

У попередньому параграфі були встановлені тенденції впливу на полі напруги і переміщень в системі «шаруватий масив-кріплення виїмкової виробки» основних геомеханічних чинників: міцносних і деформаційних характеристик вуглевмісної товщі, а також глибини розташування виробки. Виявлено, що певне поєднання цих чинників зумовлює вид стану (дограничне, граничне, позамежне) довколишніх породних шарів і вугільного пласта, який, у свою чергу, чинить вирішальну дію на розвиток епюри зміщень периметра виробки. Тому головне завдання цього параграфу полягає у встановленні закономірностей зв'язку епюри зміщень периметра виробки з основними геомеханічними чинниками з метою подальшої розробки методу прогнозу проявів гірського тиску і оцінки виконання експлуатаційних вимог правил безпеки і стійкості виробки, що споруджується в шаруватому масиві слабких порід.

Для побудови епюри зміщень по периметру виробки виділений ряд точок, співпадаючих з вузлами звичайно елементної сітки. Ці точки пронумеровані від 1 до 22 по руху годинникової стрілки і принципи їх розташування продиктовані прагненням, з одного боку, отримати найбільш точну епюру $U(x,y)_a$ з іншого, - обмежити об'єм вимірів :

– прийнята симетрична відносно вертикальній осі виробки схема розташування точок вимірів для виявлення можливої асиметрії епюри $U(x,y)$ обумовленою пологим $\alpha \leq 6^\circ$ падінням вугільного пласта;

– у зведеній рамі точки вимірів розташовані рівномірно через кожні 15° у інтервалі $\theta = 0...90^{\circ}$;

– у прямолінійній частині стійки розміщені три точки (у опорі стійки, кінці її прямолінійної ділянки і по середині) вимірів для точнішого виявлення її вигину, дуже характерного для виробок шахт Західного Донбасу;

– по ширині підосви виробки точки вимірів розміщені рівномірно для наочнішого відображення нерівномірного характеру здуття.

Результати вимірів епюри зміщень периметра виробки представляються для аналізу таким чином.

По-перше, для кожного з варіантів розрахунку будується новий контур виробки (що відповідає якому-небудь фіксованому значенню глибини її розташування) і визначається площа перерізу S виробки усередині її контура, що змінився. Знаючи первинну площу поперечного перерізу

виробки S_0 визначається безрозмірний параметр $\frac{S}{S_0}$ - відносна зміна площі поперечного перерізу штреку пласта, який нерідко використовується в сучасних дослідженнях для оцінки стійкості виробки і міри її придатності для подальшої експлуатації, у тому числі, по чинниках транспорту і ефективності провітрювання ділянки шахтного поля.

По-друге, існує ряд обмежень на допустиму величину зміщення породного контура виробки (на різних ділянках її периметра) виходячи з комплексу вимог її надійної і безпечної експлуатації [1,2], наприклад, допустима величина вертикальної і бічної податливості кріплення; мінімально допустимі проміжки для безпечного проходу людей і руху рухомого складу, інших транспортних засобів; максимально допустима (з точки зору збереження рейкового шляху) величина здуття порід підосви та ін. Ці вимоги частково індивідуальні залежно від типу і призначення виробки. Тому, окремо від

параметра $\frac{S}{S_0}$ необхідно встановити закономірності зміни зміщень периметра виробки в наступних точках:

- точка 9 - максимальне опускання зведення покрівлі;
- точка 20 - максимальне підняття підшови;
- точки 4, 14 і 5, 13 - зближення боків виробки в зоні проходу людей;
- точки 1, 17 - зближення боків виробки по її підшові, а також втискування опор стійок рами в підшову;
- точки 18, 22 - підняття підшови в зоні проходу людей.

Для обґрунтування варіантів розподілу механічних характеристик довколишніх шарів вуглевмісної товщі використаний аналіз результатів розрахунку НДС системи по попередніх етапах досліджень і результати

пробних розрахунків за оцінкою міри впливу параметрів $\frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}}$ і $\frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}}$ позамежного стану кожного з шарів.

Перша особливість зв'язку епюри переміщень порідного контура виробка з механічними характеристиками вуглевмісної товщі полягає в тому, що спостерігаються стабільні закономірності зміни функції $U(x, y) = \Phi(E_i^{K,II})$

незалежно від параметрів $\sigma_{сж}^{K,II}$, $\frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}}$ і $\frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}}$ граничного і позамежного стану породних шарів. Це дозволяє представити епюру переміщень порідного контура виробка як функцію двох співмножників

$$U(x, y) = \Phi_1(E_i^{K,II}) \cdot \Phi_2 \left[\sigma_{сж}^{K,II}, \frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}}, \frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}} \right] \quad (3.2)$$

У свою чергу, вид функції $U(x, y)$ по рівнянню (3.2) створює можливість роздільного дослідження функцій Φ_1 і Φ_2 : розрахунки НДС системи по встановленню функції Φ_1 були проведені в попередніх роботах Фомичова В.В.;

результати розрахунків НДС системи по встановленню функції Φ_2 викладені в цьому розділі і дозволяють здійснити моделювання тільки одного ($E_i^{K,II} = 0,3 \cdot 10^4$ МПа) з 27 варіантів співвідношення модулів деформації шарів вуглевмісної товщі; інші варіанти враховуються функцією Φ_1 .

Друга особливість однозначно вказує на взаємовплив параметрів $\sigma_{сж}^{K,II}$ $\frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}}$ і $\frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}}$ на функцію $U(x,y)$ яке неможливо розділити по аналогії з рівнянням (3.2). Тоді у базу варіантів розрахунку слід включати усі 27 варіантів співвідношень $\sigma_{сж}^{K,II}$ вуглевмісної товщі. Проте, встановлено, що уся гамма закономірностей розвитку зміщень $U(x,y)$ у граничному і позамежному станах з точністю до 10% описується вісьмома найбільш «різнополюсними» варіантами по параметру. Це дозволяє більш ніж в три рази скоротити об'єм обчислень.

Далі виконано обґрунтування діапазону зміни і вибраних фіксованих значень параметрів позамежного стану $\frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}}$ і $\frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}}$ породних шарів вуглевмісної товщі.

Дослідженнями встановлено, що в слабких вуглевміщаючих породах (в основному Західного району Донбасу) залишкова міцність на стискування $(\sigma_{сж}^{K,II})^0$ складає 10...20% від міцності на стискування цілісного зразка $\sigma_{сж}^{K,II}$. Для охоплення цього діапазону проведені розрахунки НДС системи при різних поєднаннях залишкової міцності кожного з довоколишніх породних шарів для

двох фіксованих значень $\frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}} = 0,1$ і $0,2$, які зведені в таблиці. 2.2.

Таблиця 2.2

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{(\sigma_{свс2}^K)^0}{\sigma_{свс2}^K}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
$\frac{(\sigma_{свс1}^K)^0}{\sigma_{свс1}^K}$	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
$\frac{(\sigma_{свс1}^H)^0}{\sigma_{свс1}^H}$	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2

Що стосується параметра $\frac{M_i^{K,H}}{E_i^{K,H}}$ спадаючій гілці повної діаграми деформації породи, то вищезгадані дослідження механічних властивостей слабких глинистих, піщано-глинистих і піщаних сланців Західного Донбасу

дають досить обмежений інтервал зміни $\frac{M_i^{K,H}}{E_i^{K,H}} = 0,5...3$.

Пластичніші глинисті сланці мають знижений(усереднений по спадаючій гілці) модуль спаду $\frac{M}{E} = 0,5...1,5$ піскуваті сланці схильні до крихкішого руйнування ($\frac{M}{E} = 2...3$), а піщано-глинисті сланці займають проміжне значення. В зв'язку з цим прийнято раніше розраховувати НДС системи для групи

варіантів, де параметр $\frac{M_i^{K,H}}{E_i^{K,H}}$ зафіксований двома значеннями 0,5 і 3 для кожного з довколишніх шарів вуглевмісної товщі (таблиця. 2.3).

Таблиця 2.3

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8
$\frac{M_2^K}{E_2^K}$	0,5	0,5	0,5	0,5	3	3	3	3
$\frac{M_1^K}{E_1^K}$	0,5	0,5	3	3	0,5	0,5	3	3
$\frac{M_1^H}{E_1^H}$	0,5	3	0,5	3	0,5	3	0,5	3

Крім того, прорахована група варіантів при $\frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}} = 1,3$ які займають проміжне значення по досліджуваному параметру. Ці розрахунки спільно з додатковими (при необхідності точнішого встановлення закономірностей зв'язку $U(x, y)$ і механічних характеристик вуглевмісної товщі) використані в розробленому методі прогнозу епюри переміщень порідного контура виробки пласта.

Відповідно до методики проведення досліджень виконаний комплекс розрахунків НДС системи «шаруватий масив-кріплення підготовчої виробки», результати яких найнаочніше проілюстровані сімейством графіків опускання покрівлі штреку (по вертикальній координаті Y) залежно від геомеханічних

параметрів: $H, E_i^{K,II}, \frac{M_i^{K,II}}{E_i^{K,II}}, \sigma_{сж}^{K,II}$ і $\frac{(\sigma_{сж}^{K,II})^0}{\sigma_{сж}^{K,II}}$. Найбільший інтерес представляє максимум вертикальних переміщень в замку зведення U_9^y і в зоні проходу людей (U_4^y, U_5^y, U_{13}^y і U_{14}^y).

На рис. 3.10 приведені залежності зростання переміщень замку зведення U_9^y зі збільшенням глибини H розробки. Функції $U_9^y(H)$ мають нелінійний характер: у міру зростання H зміщення U_9^y збільшуються більше інтенсивно, що обумовлено зростанням зон позамежного стану в довколишніх породних шарах. На величину опускання замку зведення найбільший вплив робить модуль деформації E_1^K першого порідного шару покрівлі : збільшення його жорсткості обмежує зміщення U_9^y до 1,69 разів. Менший вплив робить модуль деформації E_2^K другого порідного шару покрівлі : при його збільшенні від $0,3 \cdot 10^4$ МПа до $1 \cdot 10^4$ МПа зміщення U_9^y зменшується до 11%. Вплив модуля деформації E_1^{II} першого порідного шару підосви не перевищує 7,2%.

Обмеження опускання замку зведення із зростанням жорсткості довколишніх породних шарів логічно і не суперечить відповідним положенням механіки підземних споруд.

Приклад закономірності зв'язку опускання U_9^y замку зведення з міцносними характеристиками довколишніх породних шарів приведений на рис. 3.11. Звертає увагу дуже тісний зв'язок переміщень U_9^y з межею міцності на стискування першого $\sigma_{сж1}^K$ і другого $\sigma_{сж2}^K$ породних шарів покрівлі. Збільшення $\sigma_{сж1}^K$ від 5 МПа до 20 МПа призводить до зниження опускання замку зведення в 3,46...4,74 рази при $H = 200$ м і в 3,83...5,52 рази при $H = 600$ м, що пояснюється різким обмеженням областей позамежного стану в першому порідному шарі покрівлі. Аналогічний ефект спостерігається і в другому порідному шарі покрівлі, але вже з менш тісним зв'язком U_9^y і $\sigma_{сж2}^K$ унаслідок його деякої віддаленості від зведення виробка : збільшення $\sigma_{сж2}^K$ від 5 МПа до 20 МПа сприяє зниженню U_9^y у 1,49...1,79 разу при $H = 200$ м і в 1,55...2,07 разу при $H = 600$ м. Як бачимо, зі збільшенням глибини розташування виробка пласта посилюється вплив міцносних характеристик породних шарів покрівлі.

Що стосується першого породного шару підосви, то його вплив $\sigma_{сж1}^H$ на величину U_9^y менш помітно: при збільшенні $\sigma_{сж1}^H$ з 5 МПа до 20 МПа зміщення знижуються на 3,9...17,5% при $H = 200$ м і на 2,1...11,6% при $H = 600$ м. При цьому найбільший вплив $\sigma_{сж1}^H$ робить при помірних переміщеннях замку зведення $U_9^y = 100...300$ мм.

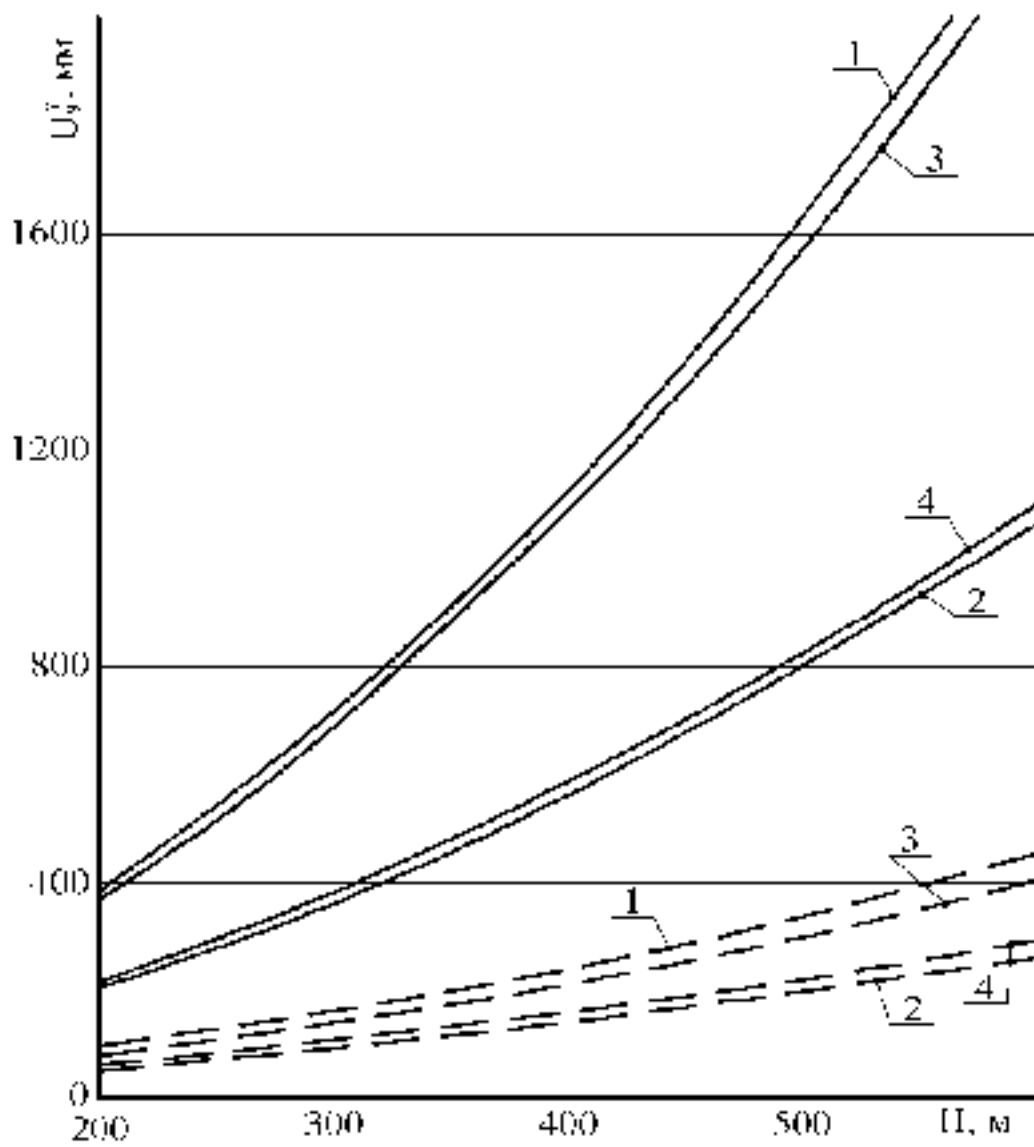


Рис. 2.10. Опускання U_y^y замку зведення із зростанням глибини розробки H :

$$\sigma_{\text{свк1}}^K = 5 \text{ МПа}; \sigma_{\text{свк1}}^H = 20 \text{ МПа};$$

$$1 - \sigma_{\text{свк2}}^K = \sigma_{\text{свк1}}^H = 5 \text{ МПа};$$

$$2 - \sigma_{\text{свк2}}^K = \sigma_{\text{свк1}}^H = 20 \text{ МПа};$$

$$3 - \sigma_{\text{свк2}}^K = 5 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{свк1}}^H = 20 \text{ МПа};$$

$$4 - \sigma_{\text{свк2}}^K = 20 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{свк1}}^H = 5 \text{ МПа}$$

Таким чином, за результатами аналізу впливу на зміщення замку зведення міцнісних і деформаційних характеристик допредільного і граничного стану довколишніх породних шарів можна зробити два висновки:

– параметри σ_{cm1}^K , σ_{cm2}^K , E_1^K і E_2^K необхідно враховувати при прогнозі опускання зведення U_9^y ;

– вплив механічних характеристик σ_{cm1}^H і E_1^H першого порідного шару ґрунту знаходяться в межах погрішності, що допускається при гірничотехнічних розрахунках, що дозволяє їх виключити при прогнозуванні величини U_9^y .

Більше цікавлять зміщення U_5^y і U_{13}^y які при опусканні зведення можуть перемістити точки 5 і 13 в зону безпечного проходу людей (1,8 м від пішохідного настилу), що неприпустимо по чинних нормах правил безпеки. Розвиток переміщень U_5^y і U_{13}^y із зростанням глибини H розробки аналогічні вищеописаним закономірностям U_9^y замку зведення, але є деякі особливості, які пояснені на рис. 3.11 (графіки приведені для глибини $H = 400$ м). За інших рівних умов величина $U_{5,13}^y$ складає 64 і 71% від U_5^y що ще раз звертає увагу на процес виполажування зведення.

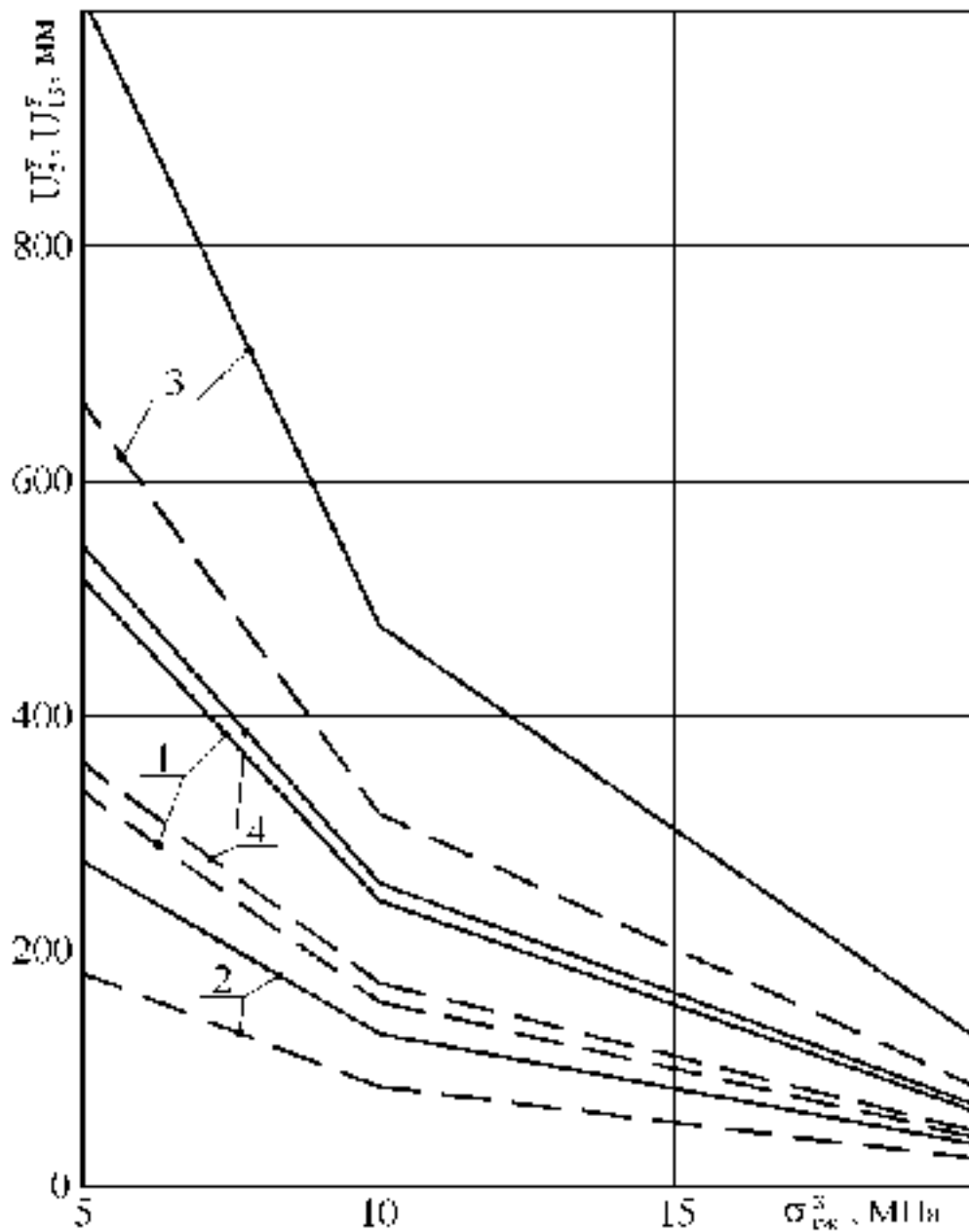


Рис. 2.11. Вертикальні переміщення U_5^y U_{13}^y зведення виробки в зоні проходу людей залежно від опору стискуванню σ_{ck}^K першого породного шару покрівлі :

$$\sigma_{ck2}^K = 5 \text{ МПа}; \quad \sigma_{ck2}^K = 20 \text{ МПа};$$

$$1 - \frac{(\sigma_{ck1}^K)^p}{\sigma_{ck1}^K} = 0,1, \quad \frac{M_1^K}{E_1^K} = 0,5; \quad 2 - \frac{(\sigma_{ck1}^K)^p}{\sigma_{ck1}^K} = 0,2, \quad \frac{M_1^K}{E_1^K} = 0,5;$$

$$3 - \frac{(\sigma_{ck1}^K)^p}{\sigma_{ck1}^K} = 0,1, \quad \frac{M_1^K}{E_1^K} = 3; \quad 4 - \frac{(\sigma_{ck1}^K)^p}{\sigma_{ck1}^K} = 0,2, \quad \frac{M_1^K}{E_1^K} = 3$$

Отримуємо наступні висновки:

- для умов шахти «Західно-Донбаська по стратиграфічних колонках вугільних пластів побудовано три найбільш характерних структури вуглевмісної товщі, аналіз поля напруги в яких дозволив з достатньою для гірничотехнічних розрахунків точністю обґрунтувати єдину усереднену структуру, погрішність якої не перевищує 10% в усьому діапазоні зміни геомеханічних параметрів вміщуючого масиву слабких порід.

- оцінено вплив деформаційних характеристик приконтурних породних шарів виробки пласта на напружено-деформований стан системи «шаруватий масив-кріплення підготовчої виробки». Встановлено, що, незважаючи на різні співвідношення деформаційних характеристик довколишніх породних шарів в покрівлі і підшві виробки пласта розміри зон граничного стану (в основному від дії розтягуючої напруги σ_x і σ_y) досить стабільні і охоплюють два порідні шари в покрівлі і один шар в підшві. У боках штреку спостерігається яскраво виражена область опорного тиску, яка сприяє розвитку зони граничного стану від дії стискуючої напруги.

- отримані закономірності впливу механічних характеристик породних шарів на зміни поля напруг і зміщень з ростом глибини розташування виїмкової виробки. Це дозволяє здійснювати вибір оптимальних параметрів виробки в залежності від механічних характеристик порід, які змінюються по довжині виробки. Так для умов, що виробка розташована на глибині $H=200-400\text{м}$ можна використовувати виробки з площею поперечного перерізу $S=11,2\text{ м}^2$, відстань між рамами $0,8\text{м}$, тип кріплення КШПП із СВП-27. Для $H=400-600\text{м}$, площу та тип кріплення виробки можна не змінювати, але потрібно використовувати додаткове кріплення у вигляді анкерів та збільшити відстань між рамами до 1м .

3 Охорона праці

3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів при проведенні гірничих виробок

Шкідливі та отрутні гази

В атмосферу гірських виробок шкідливі гази надходять, в основному, з порід, що вміщують пласт.

По даних відборах проб концентрація шкідливих і отрутних газів не перевищує гранично допустимої норми концентрації (ПДК) і становить:

оксид вуглецю - 0,0011

оксид азоту - 0,00019

диоксид азоту - 0,0004

сірководень - 0,00046

сірчистий газ - 0,00027

Так само, крім цього, з порід, що вміщують вугільний пласт виділяється метан. Концентрація метану на робочих місцях, за даними служби АГК, не перевищує ПДК і становить 0,1 - 0,5%.

Численні виміри, зроблені Тернівською міською санітарно-епідеміологічною службою, показали рівень ЕРОА радону-222 у виробках пласта С₆ не перевищує 20 Вк.м³, при допустимих 50 Вк.м³. У зв'язку із цим спеціальні заходи щодо захисту від шкідливого впливу радону не передбачаються.

У випадку виникнення пожежі, для захисту органів дихання від впливу шкідливих газів і диму, використовуються ізолюючі саморятувальники ШСС-1У.

Запиленість повітря

Даний фактор присутній як в очисних виробках, так і підготовчих вибоях. Зміст вільного двоокису кремня перевищує 10 мг/м³.

Основними джерелами пилоутворення в підготовчому вибої є прохідницький комбайн, а також навантаження й перевантаження гірської маси.

При роботі прохідницького комбайна у вибої максимальний технічно досяжний рівень запиленості складе:

- для МГВМ на робочому місці і прохідників працюючим у вибої в межах 130-150 мг/м³, тривалість впливу становить 50-55% робочого часу за зміну;

- для електрослюсарів у межах 100-120 мг/м³, тривалість впливу становить до 5-10% робочого часу в зміну;

- для нагляду дільниці (начальник дільниці, зам. начальника дільниці, механік дільниці) у межах 10-20 мг/м³, тривалість впливу становить 30-40% робочого часу за зміну;

- для гірничого майстра 100-120 мг/м³, тривалість впливу становить 5-10% робочого часу за зміну;

При роботі гірничошахтного устаткування технічно досяжний рівень запиленості не перевищує 150 мг/м³.

3.2 Знепилення при проведенні гірничих виробок

Питоме знепилення при роботі комбайна q (г/т) без засобів знепилення при проведенні підготовчої виробки:

$$q_0 = q_{00} \cdot V \cdot K_k, \text{ г/т};$$

де q_0 — питоме знепилення шахтопласта, що характеризує сумарний вміст у зруйнованому куті часток розміром 0,70 мм, здатних переходити у зважений стан для умов виїмки вугілля з барабаним виконавчим органом, постійним режимом руйнування вугілля при будь-яких гірничотехнічних умовах і швидкості руху повітряного струменя 1 м/с;

V – швидкість руху повітря, м/с;

K_k – коефіцієнт, що враховує вплив конструктивних параметрів комбайна на утворення й виділення пилу.

$$q_n = 30 \cdot 0,5 \cdot 0,33 = 5 \text{ г/м};$$

Для боротьби з пилом у підготовчий виробці приймаємо типове зрошення із зовнішнім розташуванням зрошувачів.

Залишкову запиленість повітря в підготовчий виробці при роботі прохідницького комбайна з відкритим виконавчим органом при відстані між вентиляційним трубопроводом і вибоєм, рівним 8 м, розраховуємо по формулі:

$$C_n = \frac{1000q_n P_n K_v K_c}{Q_n}, \text{ мг/м}^3;$$

де P_n – продуктивність комбайна по гірській масі, т/хв;

k_v — коефіцієнт, що враховує вплив швидкості руху вентиляційного струменя в підготовчому вибої на запиленість повітря;

k_c — коефіцієнт, що враховує ефективність комплексу заходів, що забезпечують, у підготовчому вибої:

$$k_c = (1 - \varepsilon_1) \cdot \dots \cdot (1 - \varepsilon_n) = 1 - 0,8 = 0,2$$

де $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$ — ефективність окремих заходів, частка од.

Q_n – кількість повітря необхідне для провітрювання підготовчого виробітку, м³/хв. Визначено в підрозділі вентиляція як кількість повітря, необхідне для провітрювання привибійного простору.

$$C_n = \frac{1000 \cdot 5 \cdot 1,9 \cdot 1 \cdot 0,2}{2,6 \cdot 60} = 12,7 \text{ мг/м}^3;$$

Залишкова запиленість повітря при знепилюванні перевищує санітарні норми, тому необхідно передбачити забезпечення гірників протипиловими респіраторами ПРШ-741, які мають наступну характеристику:

- вага 200 г;

- строк захисної дії 22 години, при запиленості повітря 300 мг/м³;
- ефективність пилеутримання 99,99%.

Знепилення при роботі прохідницьких комбайнів.

Для боротьби з пилом застосовують високонапірне зрошення з тиском рідини не менш 1,2 Мпа і подачею води в зону різання.

Розроблена схема розташування встаткування для знепилення показана на рис. 3.1.

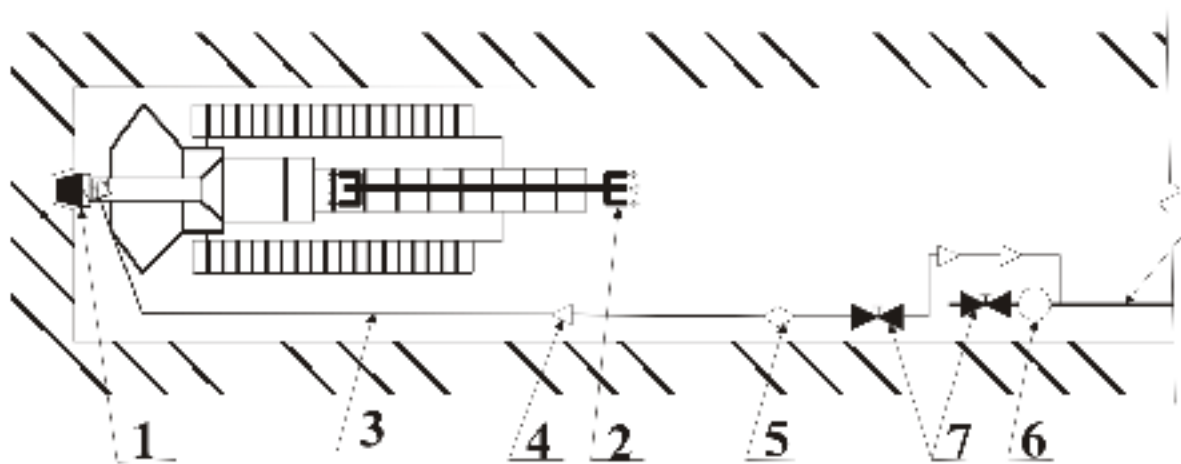


Рис. 3.1 - Схема розташування встаткування для пилоподавлення
1- форсунка зовнішнього зрошення; 2 - зрошувальний пристрій; 3 - рукав напірний; 4 - перехідна муфта; 5 - дозатор; 6 - манометр; 7 - вентиль.

Добова витрата води на зрошення:

$$Q_{\text{сут}} = 10^{-3} \cdot k \cdot \sum V \cdot q = 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot (10,4 \cdot 125 \cdot 2,0 / 30) \cdot 40 = 3,81 (\text{м}^3 / \text{сут})$$

де k - коефіцієнт на невраховані витрати води і витоку;

V - добовий обсяг робіт по окремих виробничих процесах, т/доб;

q - питома витрата води по окремих виробничих процесах, л/т.

Необхідне число форсунок для зрошення:

$$n = \frac{Q_{\text{сут}}}{3,13 \cdot a \cdot \sqrt{p}} = \frac{3,81}{3,13 \cdot 1,6 \cdot \sqrt{2}} = 0,54 (\text{шт})$$

де Q - витрата води на зрошення, л/хв;

a - коефіцієнт витрати води форсункою;

p - тиск води у форсунці, Мпа.

На комбайні ГПКС установлюємо 1 форсунку типу КФ 1, 6-75 з витратою води 7,01 м³/доб.

3.3 Пиловибухозахист при проведенні виробки

Визначення періодичності обмивки виробки на різних ділянках.

Періодичність нанесення обмивки на ділянці проведеного штреку, що примикає до вибою довжиною 50 м (місця інтенсивного пилоутворення) визначається по табл. 18 [1] і становлять 1 раз у добу.

Визначимо періодичність обмивки на ділянці проведеного штреку, що залишилася,

$$T_n = \frac{K_n \cdot K_{CH_4} \cdot \delta_{обм}}{P} = \frac{1 \cdot 0,5 \cdot 35}{1,2} = 14,6(\text{сут})$$

де K_n — коефіцієнт, що характеризує тривалість захисної дії способу попередження вибуху вугільного пилу. При обмивці $K_n=1$;

K_{CH_4} — коефіцієнт, що враховує вплив вмісту метану в атмосфері виробки. При вмісті CH_4 1,0% — $K_{CH_4}=0,5$;

P — інтенсивність пиловідкладення, г/(м³·доб). У тупикових підготовчих виробках поза привибійного простору $P=1,2$.

Розрахунок розосередженого водяного заслону з посудин типу ПБС-1.

Необхідна витрата води на розосереджений водяний заслін визначається по формулі:

$$Q_p = 1,1 \cdot q \cdot S, л$$

де 1,1 - коефіцієнт який враховує відхилення тактичного наповнення посудин від розрахункового;

q - питома витрата води на 1м² перетину виробки, приймаємо 400л по [1]:

$$Q_p = 1.1 \cdot 400 \cdot 10,4 = 4576(\text{л})$$

Кількість посудин необхідне для установки розраховується по формулі:

$$N = \frac{Q_p}{q_{oc}} = \frac{4576}{12} = 382$$

де q_{oc} - ємність однієї посудини, л;

Кількість рядів з посудинами в заслоні:

$$m = \frac{N}{n} = \frac{382}{6} = 64$$

де n - кількість водяних посудин у ряді.

Необхідна кількість води в заслоні:

$$Q = m \cdot n \cdot q_{oc} = 64 \cdot 6 \cdot 12 = 4608(\text{л})$$

У суміжних рядах посудини повинні розташовуватися, перекриваючи один одного.

Згідно «Інструкції з попередження й локалізації вибухів вугільного пилу» параграфи 37, 38 і застосовуваних посудин ємністю 12л розрахуємо параметри заслону:

$$L^* = \frac{Q}{2.5 \cdot S} = \frac{144}{2.5 \cdot 10.4} = 5,54(\text{м})$$

де Q - загальна ємність посудин на двох суміжних рамах.

Умова $L^* > 5$ м виконується.

$$L = \frac{Q}{0,75 \cdot S} = \frac{144}{0,75 \cdot 10.4} = 18,46 = 18,5(\text{м})$$

Розміщення заслону з посудин ПБС-1 у виробках, закріплених арковим кріпленням показано на рисунку 3.2

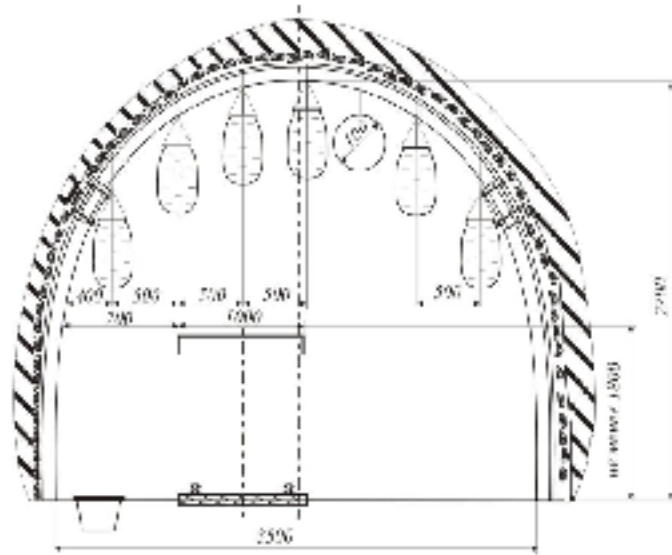


Рис. 3.2 — Схема установки водяного занавеса з посудин ПБС-1

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі вирішено практичне завдання по забезпеченню надійної експлуатації виїмкових виробок за рахунок підвищення достовірності прогнозу стану неоднорідного вуглевмісного масиву слабких порід по усьому контуру кріплення виїмкової виробки.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Оцінка достовірності розрахунку НДС системи «шаруватий масив - кріплення виїмкової виробки» дала задовільні результати: закономірності розвитку переміщень контуру кріплення виробки не суперечать відомим геомеханічним гіпотезам (встановленим як експериментальними, так і аналітичними дослідженнями).

2. Встановлені закономірності деформацій контуру виробки при різних механічних параметрах породних шарів, на підставі яких визначаються технологічні умови взаємодії контуру породного масиву і рами, Вибір технології і конфігурації установки рамного кріплення відбувається на підставі аналізу зміщень окремих ділянок контуру виробки.

3. Отримані закономірності впливу механічних характеристик породних шарів на зміни поля напруг і зміщень з ростом глибини розташування виїмкової виробки. Це дозволяє здійснювати вибір оптимальних параметрів виробки в залежності від механічних характеристик порід, які змінюються по довжині виробки. Так для умов, що виробка розташована на глибині $H=200-400\text{м}$ можна використовувати виробки з площею поперечного перерізу $S=11,2\text{ м}^2$, відстань між рамами $0,8\text{м}$, тип кріплення КШП із СВП-27. Для $H=400-600\text{м}$, площу та тип кріплення виробки можна не змінювати, але потрібно використовувати додаткове кріплення у вигляді анкерів, що дає змогу збільшити відстань між рамами до 1м .

Кваліфікаційна робота виконана відповідно до програми й методичних рекомендацій кафедри гірничої інженерії та освіти [19].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах / НПАОП 10.0-1.01 - 10.- К., 2010. - 430 с.
2. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. Том 1. - К., 2003. - 478 с.
3. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. Том 2.- К., 2003. - 409 с.
4. Технологія підземної розробки пластових родовищ корисних копалин: Підручник для вузів / Бондаренко В.І., Кузьменко О.М., Грядущий Ю.Б., Гайдук В.А., Колоколов О.В., Табаченко М.М., Почепов В.М. – Дніпропетровськ, 2005. – 708 с. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. Том 1. - К., 2003. - 478 с.
5. Jaburek F., Hofler G., Sturn F. Elementmethode zur Berechnung ebener Spannungs-und Verformungszustonde-ein Hilfsmittel der Gebirgsmechanik // Burgund Huttenmannische Monatshefte. – 1970. – №115. – P. 32-35.
6. Research of rock and deformation around mining workings /V. Bondarenko, G. Simanovich, I. Kovalevscaj //International Mining Forum. Technical, technological and economic aspects of thin-seams coal mining. – Taylor & Francis/Balkema. – P.47-56.
7. Виноградов В.В. Геомеханіка управління станом масиву поблизу гірських виробок - Київ: Наукова думка, 1989. 192 с.
8. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. - Дніпропетровськ, 2002. - 372 с.
9. Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Мартовицький А.В., Фомічов В.В. Розвиток наукових основ підвищення стійкості гірничих виробок шахт Західного Донбасу / - Дніпропетровськ: ЛізуновПрес, 2010. - 340 с.
10. Тищенко Н.В., Нехрещенюк А.Ф. Сучасний стан та перспективні напрямки розвитку вугільних шахт Західного Донбасу // 36. науч. пр. Школа підземної розробки. - Дніпропетровськ-Ялта: НГУ, 2007. - С.69-76.
11. Васильєв В.Є. Аналіз умов розробки пластів Західного Донбасу // Науковий вісник НГУ. - 2004. - №9. - С.6-11.
12. Лапко В.В., Фомічов В.В., Скітенко А.І. Обґрунтування доцільності застосування анкерного кріплення для підтримки гірничих виробок / Матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. «Школа підземної розробки». - Дніпропетровськ: «Лізунов-Прес», 2011. - С. 305-310
13. Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Симанович Г.А., Фомічов В.В. Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану мелкослоїстого

породного масиву навколо виробки пласта. Книга II. Граничне і позамежне стан системи «порода кріплення» / Днепропетровск: Системні технології, 2007. - Ч. II. - 198 с.

14. Лапко В.В., Фомичов В.В., Мамайкін А.Р. Вплив на адекватність і точність рішення задач геомеханіки математичних методів, використовуваних при моделюванні взаємодії кріплення і гірського масиву / Матер. міжнар. конф. «Форум гірників-2011». - Дніпропетровськ: НГУ, 2011. - С. 109-114.

15. Сивко В. Й. Розрахунки з охорони праці: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 152с.

16. Ткачук К. Н., Гурін А. О., Бересневич П. В. та ін. Охорона праці (підручник для студентів гірничих спеціальностей вищих закладів освіти). За ред. К.Н. Ткачука. Київ, 1998. – 320с.

17. Єдині норми виробітку на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт.– Донецьк: Касіопея, 2004.– 292 с.

18. Довідник з гірничого обладнання дільниць вугільних і сланцевих шахт: навч. посібник / М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський та ін. – Д.: НГУ, 2012. – 432 с.

19. ІНЖИНІРИНГ ГІРНИЦТВА. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-професійною програмою підготовки спеціальності 184 ГІРНИЦТВО. / В.І. Бондаренко, В.М. Почепов, О.Р. Мамайкін, В.Ю. Медяник, В.В. Лапко – М-во освіти і науки України Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2023. – 24 с.