

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 Воронцова Євгенія Вадимовича
(П І Б)
академічної групи 184м-22-7 ІП
(шифр)
спеціальності 184 Гірництво
(код і назва спеціальності)
за освітньо-професійною програмою Інжиніринг гірництва
(офіційна назва)

на тему: Обґрунтування параметрів кріплення виробок з урахуванням напружено-деформованого стану порід в умовах шахти «Степова» 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.			
Розділ 3	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 Воронцову Є.В. академічної групи 184м-22-7 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 з урахуванням
напружено-деформованого стану порід в умовах шахти «Степова» ПрАТ
«ДТЕК Павлоградвугілля»

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

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Вступ. Характеристика гірничого підприємства	15.10.2023р.
Розділ 2	Аналіз методів визначення стану геомеханічних систем у складних гірничо-геологічних умовах.	15.11.2023р.
Розділ 3	Вибір параметрів кріплення виробки з урахуванням напруженого-деформованого стану породних шарів.	01.12.2023р.
Охорона праці	Заходи з охорони праці. Схема знепилювання підготовчої дільниці. Висновки.	11.12.2023р.

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Почепов В.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі: **05.10.2023р.**

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

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Воронцов Є.В.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 сторінок, 22 рисунка, 3 таблиці, 18 посилань використаної літератури.

Об'єкт розробки : кріплення виїмкових штреків.

Мета магістерської роботи: поліпшення експлуатаційних характеристик виїмкових виробок при урахуванні параметрів граничного стану порід вуглевмісного гірського масиву.

У вступі проведено обґрунтування, визначено мету, задачі та методи досліджень.

У першому розділі надані загальні відомості про підприємство, для умов якого виконувалася кваліфікаційна робота,

У другому виконаний аналіз стану проблеми, визначені шляхи її науково-практичного рішення, наведено сучасний стан і розвиток методів визначення стану геомеханічних систем у складних гірничо-геологічних умовах.

В третьому розділі розглянуті особливості впливу різноманітних структурних характеристик вуглевмісного гірничого масиву на параметри вибору конфігурацій кріплення виїмкового штреку.

У підрозділі «Охорона праці» наведені заходи з охорони праці та навколишнього середовища. Представлені заходи з комплексного знепилювання підготовчої виробки.

**ШАРУВАТИЙ ПОРОДНИЙ МАСИВ, ГРАНИЧНИЙ СТАН ПОРІД,
ВИЇМКОВА ВИРОБКА, РАМНЕ КРІПЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИЇМКИ
ВУГІЛЛЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ**

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА	8
1.1 Місцезнаходження підприємства.....	8
1.2 Кратка гірничо-геологічна характеристика.....	8
2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ГЕОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ У СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ	16
2.1. Розвиток методів прогнозу проявів гірничого тиску.....	17
2.2. Чисельні методи рішення геомеханічних задач.....	18
2.3. Обґрунтування алгоритму досліджень за оцінкою стану виробки.....	23
3. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ ВИРОБКИ З УРАХУВАННЯМ НДС СТАНУ ПОРОДНИХ ШАРІВ	32
3.1. Вплив на НДС системи характеристик міцності породних шарів вуглевмісної товщі.....	37
3.2. Тенденції змін НДС системи в залежності від співвідношення деформаційних характеристик шаруватого масиву	47
3.3. Вплив розташування виробки на напружено-деформований стан геомеханічної системи	56
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	67
ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	73

ВСТУП

Актуальність роботи. Не дивлячись на значні зміни в промисловій політиці держави вугільна галузь продовжує бути одним з основних джерел енергії України. Видобуте вугілля застосовується на багатьох промислових підприємствах країни, більша частина яких належить до енергетики та металургії. На Україні кам'яне вугілля є єдиною енергетичною сировиною, запаси якої достатньо великі. У зв'язку з тим, що щорічно росте потреба у електроенергії, росте потреба і у вугіллі. Проте, у теперішній час, вугільна промисловість, як і усі інші галузі, знаходяться у критичному стані. Основними причинами, стримуючими розвиток галузі, є затримка розрахунків за відвантажене вугілля та відсутність фінансування зі сторони держави, що призводить до неможливості придбання нової та ремонту старої техніки, і як наслідок призводить до зменшення продуктивності шахт.

Шахти відчувають гострий брак сучасної вуглевидобувної техніки, транспортних засобів, потрібних запчастин та приборів, кріпильних, паливо-мастильних та інших матеріалів. Важке фінансове становище, через не сплату рахунків споживачів, не дає можливості шахтам вдало вирішувати питання задовільного обслуговування усієї мережі виробок.

Таким чином, задачі зменшення витрат для забезпечення основних технологічних ланцюгів стають критично важливими. Серед таких задач великою групою виділяються питання забезпечення експлуатаційних характеристик очисних і виїмкових виробок, забезпечення достатнього рівня безпеки проведення гірничих робіт.

Створення технологічної системи оцінки впливу позамежного стану шаруватого породного масиву на умови конструктивної стійкості рами яка встановлюється у шаруватому масиві слабких порід є актуальною задачею підвищення ефективності застосування рамного кріплення виїмкових виробок.

Об'єкт дослідження – процеси управління гірським тиском в системі, що включає в себе приконтурний породний масив, рамне кріплення з між рамною огорожею виїмкової виробки.

Предмет дослідження – взаємодія породного масиву і елементів рамного кріплення виїмкової виробки при переході геомеханічної системи у граничний стан.

Ідея роботи – полягає у врахуванні повних діаграм деформування кожного з елементів геомеханічної системи при деформації породних шарів і елементів кріплення за межею міцності.

Мета роботи – поліпшення експлуатаційних характеристик виїмкових виробок при урахуванні параметрів граничного стану порід вуглевмісного гірського масиву.

Реалізація поставленої мети досягається шляхом послідовного вирішення наступних **основних задач**:

– визначити характеристики зміни напружено-деформованого стану геомеханічної системи при різних комбінаціях механічних параметрів породних шарів, які примикають до контуру виїмкової виробки для умов шахти «Степова»;

– виконати дослідження конструктивних деформаційних характеристик рамного кріплення під впливом переміщень породного контуру виробки, які виникають при переході окремих зон породного масиву у граничний і позамежний стан.

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 систем «шаруватий масив-кріплення виїмкової виробки» у до граничному , граничному

та позамежному їх станах із залученням методу кінцевих елементів при дослідженні НДС системи;

- тестування результатів математичних експериментів за даними натурних досліджень.

Практичне значення роботи полягає в розробці параметрів прийняття технологічних рішень при виборі конфігурації кріплення виїмкових штреків.

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

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Місцезнаходження підприємства

В адміністративному відношенні шахта «Степова» розташована на території Петропавлівського району Дніпропетровської області України.

У промисловому відношенні надра шахти підпорядковані ВСП ШУ "Першотравенське" ПрАТ "ДТЕК Павлоградвугілля".

Найближчими до шахти промисловими підприємствами є: діюча шахта «Ювілейна», розташована в 4 км на південний схід, а також закрита в 1999 році шахта «Первомайська».

Найближчими населеними пунктами є: с. Миколаївка, розташоване біля північно-західного кордону шахтного поля, та районний центр с.м.т. Петропавлівка – 10 км на північний схід. Житлове селище м. Першотравенськ для трудящих шахти знаходиться в 4,5 км на південний схід від шахти. В 45 км на захід від шахти розташовано центр вугільної промисловості Західного Донбасу – м. Павлоград. З обласним центром м. Дніпром шахта зв'язана асфальтованою дорогою Київ – Донецьк.

1.2 Коротка гірничо-геологічна характеристика

1.2.1 Геологічна характеристика родовища

У геологічному будові шахтного поля приймає участь комплекс осадових порід кам'яновугільний, палеогенового, неогенового та четвертичного віку. Порооди докембрія та девона на шахтному полі не розкриті.

Кам'яновугільні відкладення представлені турнейским та візейским ярусами нижнього відділу Донецького карбона та залягають, як правило, на розмитій поверхні декамбрійського кристального масива.

Турнійський ярус в межах шахтного поля складений світло-сірими, сірими вапняками, мергелистими сланцями та доломітами. Потужність турнейских утворень досягає 40-50 м.

Відкладення візейського яруса виділяються в межах від турнейських вапняків (А₁) знизу, до вапняка (Д₁) зверху. По літологічному складу та фаунистичним залишкам відкладення візейського яруса підрозділяються на нижньовізейські і верхньовізейські. Нижньовізейські відкладення укладені між вапняками турнейського яруса та вапняком В₁ та представлені пісковиками, аргілітами, алевролітами та вапняками. Їх потужність досягає 40 м. Верхньовізейські відкладення мають потужність близько 800 м та складають основну частину розрізу нижнього карбону району. Вони укладені між маркованими вапняками В₁ та Д₁.

Залягання вуглевмісних порід в основному моноклінальне з зануренням на північний схід під кутом 2-5 градусів, ускладнене рядом диз'юнктивних порушень типу круто спадаючих скидів. Серед них слід відзначити серію більших скидів - Поздовжнього, Петропавлівського № 1, 2, 3, Петропавлівського, Західного. Простягання основних тектонічних порушень північно-західне і південно-східне. Кути падіння цих порушень круті і складають 60-85 °. Амплітуди зміщення порід в зонах порушень змінюються в межах від 7-10 м до 125 м.

Також гірничими виробками шахти відзначений ряд дрібноамплітудних порушень з амплітудами порядку 0,10-0,70 м.

У межах шахтного поля і прирізаного блоку №3 у вугленосній товщі Самарської свити налічується до 60 вугільних пластів і прошарків, з яких робочої товщини досягають 11 пластів: С₁₀^в, С₈^в, С₇^в, С₆³, С₆¹, С₆, С₅¹, С₅, С₂¹, С₂ та С₁. Крім перерахованих вище вугільних пластів на шахтному полі простежуються пласти: С₁₀¹, С₈^н і С₄¹ з позабалансовими запасами. В даний час шахтою «Степова» розробляються пласти С₆¹ та С₆.

Якісні характеристики вугілля по пластам представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Якісні характеристики вугілля по пластам

№ п.п.	Найменування показників	По пластам межі зміни середніх значень	
		C ₆	C ₆ ¹
1.	Марка вугілля	Г	Г
2.	Волога, W ^a , %	<u>0,4 – 2,9</u> 1,51	<u>0,7 – 4,7</u> 2,21
3.	Волога робоча W ^p , %	<u>4,8-10,1</u> 8,7	<u>8,7- 10,5</u> 9,2
4.	Зола A ^c , %	<u>3,2-21,4</u> 13,1	<u>2,26 – 2,99</u> 11,7
5.	Зола з урахуванням засмічення, %	<u>3,2-28,5</u> 16,9	<u>2,26 - 34,8</u> 12,8
6.	Сірка S ^c , об.	<u>1,53 - 4,9</u> 2,66	<u>0,2-3,94</u> 1,88
7.	Летючі V _г , %	<u>38,7 – 47,0</u> 42,1	<u>29,6 – 44,0</u> 41,0
8.	Теплотворна здатність Q ^f _б , ккал	<u>8190-8380</u> 8320	<u>6400 – 6450</u> 6425
9.	Об'ємна вага, г/см ³	<u>1,12- 1,2</u> 1,24	<u>1,13-1,26</u> 1,29

1.2.2 Гірнична характеристика діючої шахти

Межі та запаси шахтного поля

Станом на 01.01.13 затвердженими технічними межами шахти є:

на півдні - для пластів C₁₀⁸, C₈⁸, C₇⁸, C₆³, C₆¹, C₆, C₅¹ та C₅ – їх виходи на поверхню карбону, для пластів C₂¹ і C₂ – Поздовжній скид, умовна лінія, що проходить вхрест простягання порід східніше свердловин №НЗ - 120 в 90м і №5717 - в 170м, далі по умовній лінії, що проходить по простягання порід північніше свердловин №5717 в 220м і №НЗ-2794 - в 30м; для пласта C₁ – Поздовжній скид;

на заході - Нікольський, поздовжній, Петровський скиди і Петропавлівський скид №3;

на півночі - Петропавлівський скид;

на сході - умовна лінія, що проходить вхрест простягання порід через свердловини №6371, 12073, 2063, поздовжній скид №2, ступінчастий скид і далі по умовній лінії, що проходить вхрест простягання порід через точку, розташовану в 200м східніше свердловини №6571, і далі через свердловину №6574. В межах цих кордонів розміри шахтного поля становили по простягання 3,2-11 км, по падінню 7,3 км. Площа поля шахти становила 50 км². Зазначені межі шахти «Степова» затверджені управлінням Держнаглядохоронпраці 05.07.83 актом №135.

У 1998 році Інститутом «Дніпродіпрошахт» виконано «ТЕО прирізки запасів...» (арх.№166484), в якому проаналізовано запаси вугілля шахти «Степова» та прилеглих площ. На підставі техніко-економічних обґрунтувань і прогнозу розвитку гірничих робіт шахти «Степова» було зроблено висновок про доцільність прирізки запасів тільки пластів С₆¹ і С₆ від ділянки поля шахти «Західно-Донбаська» №11/13.

Проектна потужність і загальна організація роботи шахти

Шахта «Степова» введена в експлуатацію в 1965 році з проектною потужністю 900 тис. т вугілля на рік, яку вона освоїла в 1972 році.

Відтоді протягом тривалого часу шахта працює ритмічно і стійко з видобутком 1300-1580 тис. т вугілля на рік.

У 1985 році інститут "Дніпродіпрошахт" розробив проект «Розкриття і підготовка пластів С₆ і С₆¹ в ухильному полі», яким річна потужність шахти була визначена 1200 тис.т.

Враховуючи ритмічну роботу шахти і намічуване роботою впровадження більш продуктивної техніки, в роботі потужність шахти прийнята на рівні максимально досягнутої в перерахунку на 300 робочих днів у році – 1200 тис.т на рік.

Режим роботи шахти прийнятий наступний:

- число робочих днів у році для шахти-300;
- п'ятиденний робочий тиждень для трудящих з одним загальним вихідним і одним вихідним за змінним графіком;
- тривалість робочої зміни:
 - на підземних роботах-6 годин;
 - на поверхні-8 годин;
- кількість робочих змін:
 - в очисних вибоях-три зміни і одна ремонтно-підготовча;
 - у підготовчих вибоях - три зміни безпосередньо з проведення виробок і одна ремонтно-підготовча;
 - на поверхні-три зміни;
- число змін з видачі вугілля з шахти-три.

Схема розкриття шахтного поля

Блок №1 розкритий двома вертикальними центральними здвоєними стволами – головним і допоміжним - діаметрами відповідно 5,5 і 6,0 м, пройденими до горизонту 145м, і горизонтальними та похилими квершлагами.

Головний ствол обладнаний двоскиповим вугільним і односкиповим породним підйомами, служить для видачі вугілля та породи з горизонту 145м і виведення вихідного струменя повітря.

Допоміжний ствл обладнаний двоклітьовим підйомом, служить для спуску-підйому людей, матеріалів, обладнання та подачі свіжого повітря.

У верхньої межі (за поздовжнім скидом) ухильне поле №2 блоку №1 розкрито горизонтальними квершлагами: магістральним конвесрним і відкаточним горизонту 145м, а також північним вентиляційним горизонту 130м. Біля нижньої межі ухильне поле №2 розкривається відкаточним квершлагом горизонту 210м. Зв'язок між горизонтами 210м і 145м здійснюється по Північному похилому квершлагу. Для виведення вихідного струменя повітря

з горизонту 210м пройдено вентиляційний ходок до північного вентиляційного квершлягу горизонту 130м.

Блок № 2 розкритий двома вертикальними центрально-здвоєними стволами - повітряподавальним і вентиляційним - діаметром по 6,5 м, пройденими до горизонту 400м, і квершлягами на горизонті 300м.

Підготовка шахтного поля

Схема підготовки погоризонтна з відпрацюванням пластів довгими стовпами по повстанню спареними лавами.

На східному крилі на горизонті 210м пройдено конвеєрний штрек, а на горизонті 200м - вентиляційний. На горизонті 300м пройдені відкаточний і вентиляційний штреки (проміжні).

На західному крилі на горизонті 300м проходяться відкаточний і конвеєрний штреки, а на горизонті 290м - вентиляційний.

На горизонті 400м проходиться Східний вентиляційний штрек пласта C_6^1 , на західному крилі на горизонті 400м магістральні виробки не проходяться.

Між магістральними виробками горизонтів 210м і 300м і 300м і 400м проходяться (або пройдені) через 175–200м виїмкові конвеєрні вантажолодські штреки, які оконтурюють виїмкові стовпи. На східному крилі виїмкові конвеєрні штреки проходяться між горизонтами 400м і 210м.

Середня довжина лав 195,1 м, довжина виїмкових стовпів коливається від 1000 до 1600м, відпрацювання стовпів здійснюється у напрямку повстання пластів.

Система розробки, очисні та підготовчі роботи

Існуюча система розробки на шахті – довгі стовпи за повстанням.

Виїмка вугілля в очисних вибоях блоку №2 проводиться механізованими комплексами КД-80 з комбайнами КА-80 в напрямку повстання. В одночасній роботі на пластах C_6^1 та C_6 знаходилося 5 очисних вибоїв, середньодобове

навантаження на лаву 710 тонн, середньомісячне посування лінії діючих вибоїв – 78,4 метра.

Середня діюча довжина очисного вибою становить 195м, довжина виїмкового стовпа 1500-1600м. Корисна потужність пластів в блоці №1 становить: пласт C_6^1 – 0,61м, пласт C_6 – 0,86м.

Спосіб управління покрівлею-повне обвалення, виїмка вугілля в нішах проводиться за допомогою БВР.

Проходження виїмкових і панельних штреків проводиться прохідницькими комбайнами ПК-3Р, ГПКС і 4ПП-2, а також частково буропідривним способом з навантаженням відбитої породи і вугілля в вагонетки породонавантажувальними машинами.

Одночасно роботи велися в 6 підготовчих вибоях. Кріплення виробок - податлива металева аркова з СВП.

Транспорт

В даний час на шахті прийнята повна конвеєризація основного вантажопотоку вугілля від очисних вибоїв до бункера біля головного ствола шахти блоку № 1. За виїмковим штрекам при роботі спареними лавами використовуються стрічкові конвеєри ІЛ100У з шириною стрічки 1000 мм.

Для відкатки породи, доставки матеріалів і обладнання, а також для перевезення людей використовується рейковий та канатний транспорт (електровози, однокінцеві підйоми та моноканатна дорога).

Вентиляція.

Шахта є надкатегорійною за газом і небезпечною по вибуховості вугільного пилу. В даний час ведеться відпрацювання пластів C_6 та C_6^1 у блоці №2 на східному крилі горизонтів 210 м і 300 м, і західному – на горизонті 300м. Пласти не схильні до раптових викидів вугілля, газу і самозаймання. Породний пил силікозонебезпечний.

Провітрювання шахти здійснюється двома вентиляторними установками, розташованими на головному стволі блоку №1 і вентиляційному стволі блоку №2. Свіже повітря подається в шахту по допоміжному стволу блоку №1 і повітряподавальному стволі блоку №2. Схема провітрювання шахти комбінована, спосіб провітрювання - всмоктуючий. Схема провітрювання виїмкових ділянок - зворотноточна.

2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ГОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ

Зазвичай під проявами гірського тиску у виробці розуміють епори розподілу навантаження на кріплення і переміщень її породного контуру. Історично ситуація складається таким чином, що методи прогнозу проявів гірського тиску розроблялися дослідниками на базі експериментальних (шахтних і лабораторних) спостережень (вимірювань) і аналітичного рішення задач, що мають або спеціалізовану спрямованість для конкретних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, або більш загальну постановку. Розвиваються також комбіновані експериментально-аналітичні методи прогнозу, на базі яких в даний час побудовані всі існуючі нормативні методики розрахунку стійкості виробки і вибору кріплення. Тут первинним є визначення переміщень породного контуру виробки, по величині якого прогнозується навантаження на кріплення для «еталонних» гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов, а відмінності від них враховуються цілим рядом поправочних коефіцієнтів. Проте присутні, на наш погляд декілька негативних моментів:

- не врахування співвідношень деформаційних характеристик прилеглих (до виробки) породних шарів вуглевмісної товщі;
- не врахування механічних характеристик породних шарів в позамежному стані;
- зайва схематичність підходу до вибору кріплення без урахування низки її конструктивних особливостей, що впливають на НДС приконтурного масиву;
- рівномірний розподіл переміщень на кожній ділянці контуру виробки: покрівля, боки, підшва.

Слід звернути більш пильну увагу на останній із зазначених недоліків нормативних методик прогнозу проявів гірського тиску. У них переміщення контуру виробки прогнозується не тільки для оцінки її експлуатаційного стану, оскільки є проміжним етапом при визначенні навантаження на кріплення. Цей

момент є негативним через те, що стійкість рамного кріплення (за умовою не перевищення навантаження на кріплення її несучої здатності) є лише одним з факторів, які оцінюють експлуатаційний стан виробки і прогнозують можливість її подальшого функціонування в мережах підземних споруд вугільної шахти. Не менш важливою є оцінка надійності та безпеки пересування людей і транспортних засобів, вентиляційних схем провітрювання відповідних ділянок шахтного поля. Зазначені фактори вимагають прогнозування переміщень не окремих ділянках поверхні виробки, а «повноцінної» епори в будь-якій точці її контуру. Тоді виконання будь-якої вимоги експлуатаційних норм і правил безпеки легко оцінити при порівнянні прогнозних епор переміщень і розмірів конкретного типового перетину з відповідними нормованими зазорами і площами поперечного перерізу виробки. При цьому підвищується достовірність прогнозування епори переміщень контуру виробки, яка відрізняється крайньою нерівномірністю, особливо для умов Західного Донбасу, і вигідно відрізняє розроблювану методику від існуючих нормативних методик усередненого визначення величини зсувів в покрівлі, боках і ґрунті виробки.

2.1. Розвиток методів прогнозу проявів гірського тиску

Аналітичні методи прогнозу проявів гірського тиску розвинені надзвичайно широко і дуже різноманітні, так, що аналізувати кожен з них не представляється можливим: тут доцільно простежити тенденції вдосконалення методик, групувати і оцінити їх перспективи застосування стану виробки.

У другій половині минулого століття завдання прогнозу проявів гірського тиску зробили різкий якісний стрибок від пружно-пластичної моделі до врахування властивостей гірських порід в позамежній стадії деформування.

Завдання геомеханіки об'єктивно ускладнюються при збільшенні кількості прийнятих до обліку властивостей масиву, які мають деякі імовірні закони розподілу по довжині виробки.

Відомо, що рішення просторових задач аналітичними методами пов'язано зі значними математичними труднощами навіть в пружній постановці для ізотропного масиву і при найпростіших формах поперечного перерізу виробки.

Основні завдання геомеханіки і методи їх вирішення давно проаналізовані, на підставі чого можна сформулювати ряд загальних недоліків, властивих в тій чи іншій мірі всім аналітичним методам прогнозу проявів гірського тиску:

- складність обліку спільного деформування масиву і кріплення, що володіють істотно різними механічними характеристиками;
- труднощі в моделюванні наближеною до реальності структури шаруватої вуглевмісної товщі з тріщинуватістю, неоднорідними механічними властивостями і часто порушеними контактами між шарами в околиці виробки ;
- складність опису реальної геометрії виробки та кріплення, особливо з елементами міжрамної огорожі і забутованим закріпним простором;
- труднощі обліку просторових закономірностей зміни геомеханічних і гірничотехнічних параметрів системи «масив-кріплення»;
- складність моделювання перерахованих факторів по повній діаграмі деформування кожного з елементів системи.

Врахувати в сукупності зазначені фактори аналітичними методами не представляється можливим на сучасному рівні розвитку математичного апарату механіки твердого тіла, що деформується. Окремі з факторів описуються рядами зі складними системами рівнянь, рішення яких все одно виконується чисельними методами .

Тому з розвитком комп'ютерної техніки і відповідного програмного забезпечення в даний час активно розвивається напрямок вирішення геомеханічних задач, засноване на чисельних методах кінцево-різницевої схем.

2.2. Чисельні методи рішення геомеханічних задач

При вирішенні завдань геомеханіки постійно доводиться стикатися з проблемою розрахунку систем, що мають складну геометричну конфігурацію і нерегулярну фізичну структуру. Гірський масив і породи що його складають

мають велике число характеристик, облік яких при математичному моделюванні можливий тільки при використанні кінцева-різницевого схем розрахунків. В даний час стандартом де-факто при вирішенні геомеханічних задач став метод кінцевих елементів (МКЕ).

Для вирішення фізично не лінійних 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. Вирішувалася і просторова задача в пружній постановці з урахуванням неоднорідності гірського масиву.

У роботі Фадеєва 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 скінчених елементів. Особливо слід виділити рішення задачі визначення НДС гірського масиву з урахуванням повної діаграми «напруження-деформації» складових його порід. Запропонована автором 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 тонкошаруватому породному масиві. Результати були отримані для вирішення плоскої задачі у пружній постановці. При цьому автори використовували алгоритм масштабного збільшення переміщень, запропонований Л. Сегерліндом. Проведено порівняльний аналіз розподілу напружень в однорідному і тонкошаруватому гірському масиві. У рішенні враховувалося взаємне проковзування шарів без тертя на майданчиках контуру.

Завдання геомеханіки методом кінцевих елементів використано для проведення аналізу впливу головних напружень на стан гірського масиву

поблизу виробок великої протяжності. Завдання розглянуто для однорідного пружного масиву в об'ємній постановці.

Методом кінцевих елементів вивчено просторовий напружено-деформований стан при зведенні кріплення-оброблення в забої виробки. Рішення завдання виконувалося при різних геометричних параметрах неоднорідного шаруватого масиву для виробки круглого перерізу, розташованої в слабких глинистих породах.

Розроблено комбінований метод напружено-деформованого стану гірського масиву на основі спільного використання різних кінцево-різницевого методів. Запропонована методика розширює можливості розрахунку гірських масивів в нелінійній постановці, але автори не наводять математичне формування завдання, що забезпечує перехід при вирішенні завдання з однієї різно-кінцевої моделі в іншу. Зокрема, залишається нерозкритою одна з основних проблем-визначення граничних умов на майданчиках контуру різних кінцево-різницевого схем.

У роботі Павлової Л.Д. розглянуті аспекти моделювання об'ємного граничного напруженого стану вугле-породного масиву при підземному відпрацюванні світи пластів. У процесі розрахунків враховується кут внутрішнього тертя порід, кут падіння пластів, фізико-механічні характеристики окремих породних шарів. Як критерій втрати міцності використовується узагальнений критерій Кулона-Мезеса, що дозволяє істотно спростити процедуру визначення межі зони порушених порід.

При вирішенні завдань геомеханіки часто використовують і так звані комбіновані чисельні методи. Одним з таких методів МКЕ-МПЕ (метод кінцевих елементів-метод початкових параметрів). МПЕ дозволяє врахувати технологічні і конструктивні особливості кріплення, представляючи її у вигляді стрижневої системи певної конфігурації.

Основна маса методики розрахунку, заснованих на аналітичному підході, реалізує плоску модель розрахунку, враховує незначне число показників і використовує при вирішенні, як правило, системи диференціальних рівнянь

малого порядку.

Таким чином, що отримується чисельне рішення, будучи однозначним, не дозволяє отримувати високоточні результати, особливо при проведенні прогнозування поведінки виробок в часі. Створення подібних моделей для обліку конкретної специфіки тієї чи іншої виробки вимагає великих витрат і тому подібний підхід в математичному експерименті використовується зазвичай як один з базових елементів для побудови складних кінцево-різницевоїх моделей.

У прагненні знизити обчислювальні витрати більшість дослідників свідомо йдуть на спрощення моделі математичного експерименту, не завжди виправдане. У багатьох роботах взагалі відсутня критична оцінка обраних параметрів розрахунку, комбінація яких і в конкретних умовах може дати значні відхилення в отриманих результатах. Звідси випливає що розвивати розрахункові моделі необхідно за шляхом максимального наближення їх до реальних умов експлуатації, тобто до створення моделі середовища гірського масиву і елементів кріплення виробок, що знаходяться в складних умовах взаємодії з урахуванням локальних, пов'язаних з натурними геотехногенними умовами.

З наведеного огляду видно, що використання методу кінцевих елементів при вирішенні завдань геомеханіки знаходять все більший діапазон застосування. Постійно удосконалюється і ускладнюється методика проведення розрахунків за допомогою МКЕ. Рішення об'ємної задачі в пружно-пластичній постановці в геомеханіці стало нормою. У багатьох випадках дослідники враховують велике число чинників і їх комбінації, які мають характеристики локальних збурень системи. По суті аналізу робіт, присвячених кінцево-різницевому моделюванню геометричних 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 багатофакторність механічних властивостей порід, неоднородності структури що вміщує масив і геометричних параметрів об'єкта, можлива комбінація МКЕ, методу граничних елементів (МГЕ) і методу дискретних елементів (МДЕ) для отримання більш достатнього рішення. Основна складність застосування такої комбінації полягає в об'єктивному відображенні фізичної сутності процесу на кордоні сполучення елементів моделі, які досліджуються різними різно-кінцевими методами.

По-друге, багато завдань вимагають просторової постановки для більш достовірного відображення геометричних 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, також має велике значення вплив на розрахунок поля НДС навколо виробок.

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

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

- опис фізико-механічних характеристик порід - постійно триває укладання описової частини характеристик порід різного типу і умов їх залягання;
- аналіз технологічних чинників будівництва і експлуатації шахт та підземних споруд;
- розробка нових типів і методики використання початкових і граничних умов, що застосовується в розрахунковій моделі;
- коригування територій міцності і пластичності, які використовуються при комп'ютерному моделюванні особливості звичайно-різницевої схеми та дозволяють модернізувати умови переходу і розвитку зон граничного і

поза межного стану матеріалу, одержуваних в ході розрахунку МКЕ.

З усього вищевикладеного слід зробити висновок про необхідність розробки математичної моделі, здатної відображати реальний стан приконтурного породного масиву, форму виробки її кріплення та спосіб охорони, з урахуванням максимально можливого числа геологічних і техногенних факторів. Створення такої моделі неможливе без всебічного аналізу великого числа розрахунків, що проводяться з вибором різноманітних початкових і граничних умов для конкретної розрахункової схеми. Такий підхід дозволить розробити і обчислення, довести адекватність створюваної моделі, яку доцільно використовувати для проведення математичного експерименту в науково-прикладних цілях.

Для розробки нової обчислювальної моделі доцільним є:

- виконання її в об'ємній постановці описуючій весь спектр взаємодії окремих елементів кріплення (в т.ч. і з урахуванням зміни площі контактної поверхні) як між собою, так з породами примикає до поверхні виробки гірничого масиву;
- визначення повної діаграми «напруження-деформація» порід і матеріалів кріплення;
- облік динамічної зміни НДС з плином часу;
- розгляд величини і характеру зовнішніх навантажень (взаємний вплив виробок, зміна їх геометрії);
- виявлення впливу структури гірського масиву, в тому числі геологічних порушень, кута внутрішнього тертя і умов контакту породних шарів;
- облік тріщинуватості як макрофактору, що впливає на формування НДС гірського масиву.

2.3. Обґрунтування алгоритму досліджень з оцінки стану виробки.

Проведений аналіз існуючих підходів до розрахунку НДС породного масиву в околиці виробки і методів оцінки її стійкості дозволив виробити системну методологію реалізації мети дослідження.

Для наочного сприйняття послідовності і взаємозв'язку вирішуваних задач побудована загальна структурна схема досліджень (рис.2.1.) з подальшою деталізацією основних її етапів:

- блок I націлений на дослідження НДС системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок», виявлення закономірностей зв'язку поля напружень і переміщень геомеханічними і геотехнічними параметрами системи; обґрунтування комплексу параметрів оцінки стану виробки, з якими порівнюються встановлені закономірності зміни НДС системи;

- блок II покликаний довести результати аналітико-експериментальних досліджень до практичних рекомендацій на основі статистичної обробки масиву даних обчислювального експерименту, побудови емпіричних багатофакторних залежностей та їх ув'язки з параметрами оцінки стану виїмкових виробок.

Практична цінність дослідження включає дві складові:

- прогноз переміщень контуру виробки, що дозволяє визначити зміщення будь-якої його точки;

- оцінка стану виробки шляхом порівняння переміщень будь-якої ділянки її контуру з допустимими значеннями по конструктивно-технологічним нормам і правилам безпеки.

Розглянемо детальніше завдання, що входять в блок I, виконання яких розділено на три послідовні етапи. Структура виконання першого етапу (рис. 2.2.) включає в себе три підзадачі, покликані в сукупності найбільш всебічно і адекватно реальним умовам обґрунтувати геомеханічну модель процесів зрушення шаруватого породного масиву в околиці виїмкових виробок. Завдання першого етапу надзвичайно важливі, оскільки від ретельності обґрунтування розрахункових схем, граничних умов і моделей поведінки окремих елементів системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» залежить надійність кінцевих результатів по прогнозуванню її стану. Ці завдання не зважаючи на відмінність вирішуваних питань, взаємопов'язані між

собою єдиним принципом обґрунтування будь-якого положення або допущення проводиться шляхом комплексу тестових розрахунків НДС системи.

Першим завданням є обґрунтування діапазонів зміни геомеханічних і гірничотехнічних параметрів модельованої системи з урахуванням умов шахт Західного Донбасу і включає наступні аспекти:

- найхарактернішим для вуглевмісної товщі інтервал зміни механічних характеристик порід і вугілля, в тому числі, і при межньому стані масиву;
- глибину розташування виїмкових виробок їх охорону і параметри розміщення щодо вугільного пласта;

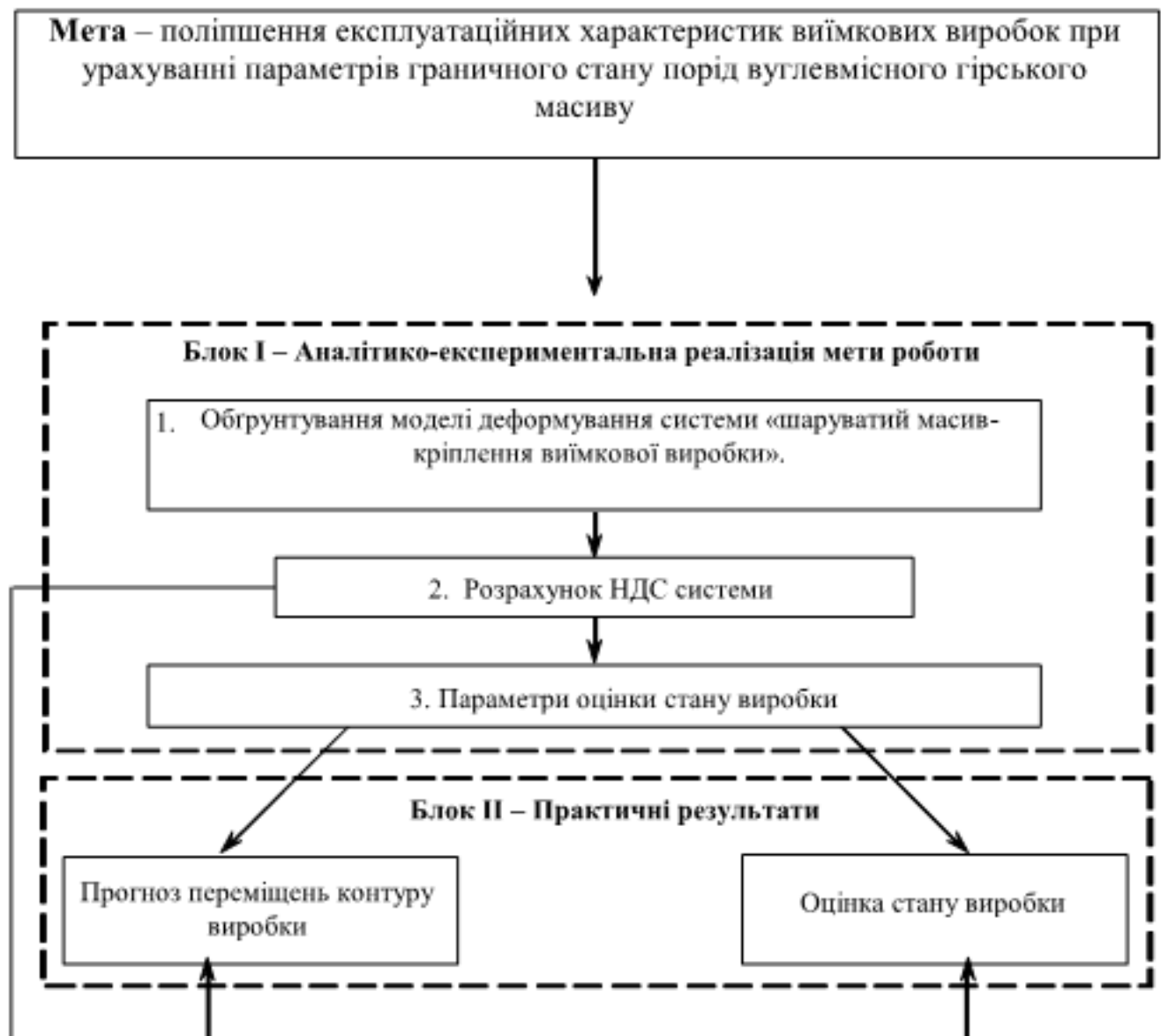


Рис. 2.1. Загальна структурно-логічна схема проведення досліджень

– параметри паспорта кріплення виїмкових виробок з механічними характеристиками рамного кріплення, затягування і матеріалу закріпного простору. Рішення про сталість деяких з вищенаведених параметрів елементів системи приймаються за результатами комплексу тестових розрахунків її НДС та оцінки ступеня впливу кожного з фіксованих параметрів.

Друге завдання – обґрунтування розмірів досліджуваної геомеханічної моделі – включає дві позиції :

– по-перше, обґрунтування параметрів негідростатичного початкового стану вуглевмісної товщі – умови навантаження кордонів моделі;

– по-друге, розміри моделі встановлюються за результатами тестових розрахунків її НДС з умови допустимого відхилення чинного поля напружень від початкового негідростатичного на кордонах моделі.

Третє завдання – обґрунтування структури вуглевмісної товщі робочих пластів найбільш трудомістка з точки зору необхідності виконання великої кількості тестових розрахунків НДС системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» при змінних її геомеханічних та гірничотехнічних параметрах в встановлених раніше діапазонах змін.

Оцінюється вплив на НДС системи чотирьох чинників:

- кут падіння вугільного пласта;
- потужність вугільного пласта і його механічні характеристики;
- потужність породних шарів в межах моделі і їх механічні характеристики;
- умови контакту породних шарів по площах нашарування: оцінюється поле напружень і порівнюються з характеристиками міцності по поверхнях контакту шарів; в результаті приймається рішення про необхідність моделювання порушення контактів породних шарів в певній галузі системи.



Рис 2.2. Структурна схема обґрунтування моделі деформування системи «шаруватий масив-кріплення виробки»

Як видно зі структури етапу 1, всі завдання задачі взаємно пов'язані, як і в реальному об'єкті. Тому процедури тестових розрахунків необхідні повторювати при внесенні будь-яких змін в геомеханічній моделі, отриманих за результатами попередніх тестових розрахунків її НДС. Кінцевим результатом етапу 1 є побудова геомеханічної моделі, що відбиває основні риси процесу деформування шаруватого масиву навколо виїмкових виробок.

Структура виконання другого етапу блоку I – розрахунок НДС моделі – приведена на рис. 2.3 і вирішує завдання по встановленню закономірностей впливу на епору переміщень контуру виробки геомеханічних факторів – глибини розташування виробки і характеристик повної діаграми деформування кожного з довколишніх шарів вуглевмісної товщі: модулів деформації і спаду, опір стисненню цілісної породи і її залишкової міцності.

Третій етап блоку I включає комплекс параметрів оцінки стану виробки, які оперують чинниками, що відображають експлуатаційні вимоги, що пред'являються до виробки, надійність і дотримання правил безпеки при їх провітрюванні, транспорті матеріалів і устаткування, пересуванні людей. Не виконання будь-якої умови вимагає проведення додаткових заходів щодо підвищення стійкості виробки.

Таким чином, комплекс завдань першого блоку доставляє всі необхідні закономірності і умови для створення практичних рекомендацій з прогнозування епори переміщені контуру виїмкового пласта в шаруватому масиві слабких порід. Наведена структурна схема виконання досліджень [67] дозволяє, на наш погляд, найбільш адекватно змоделювати особливості деформування системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» і максимально достовірно на сучасному рівні розвитку геомеханічних методів оцінити відповідні проектні рішення.



Рис. 2.3. Структурна схема проведення дослідження НДС системи.

Отже, 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 приватних характер, зумовлює особливості конкретного обчислювального експерименту.

У разі, коли обчислювальний експеримент не можна виконати у повному обсязі при існуючій розрахунковій схемі, така схема розглядається як неадекватна і вимагає повторної актуалізації.

3. ВИБІР ПАРАМЕТРІВ КРІПЛЕННЯ ВИРОБКИ З УРАХУВАННЯМ НАПРУЖЕНОГО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРОДНИХ ШАРІВ

Встановлено, що з ростом глибини розробки шаруватий масив в околиці виїмкової виробки і рамне кріплення (на окремих ділянках контуру) переходять в граничний і поза межний стан, розраховувати який необхідно по повній діаграмі деформування кожного з елементів системи «шаруватий масив-кріплення виїмкової виробки».

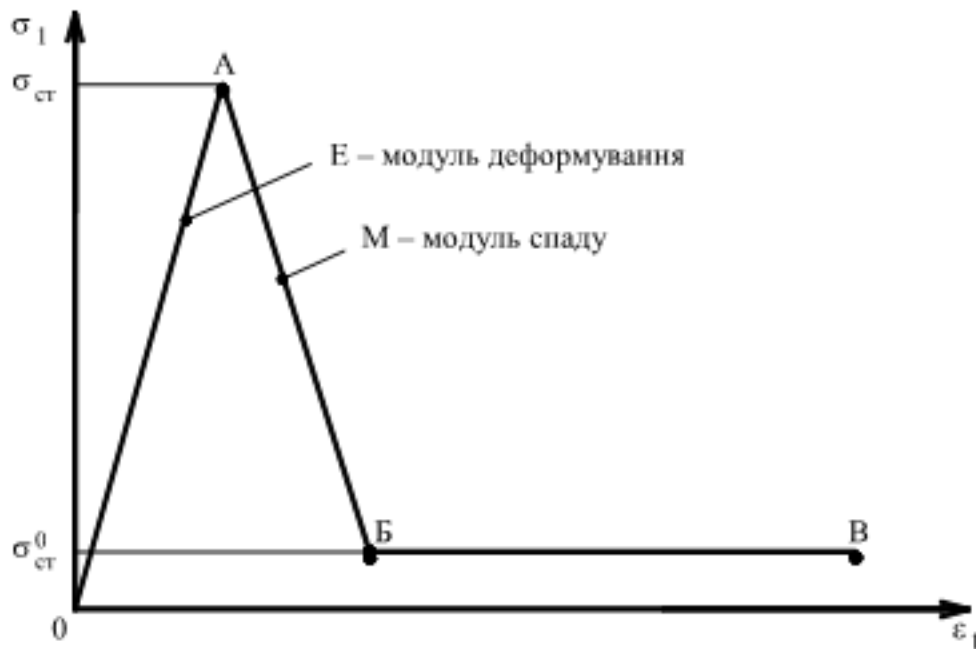


Рис. 3.1 Ідеалізація повної діаграми деформування породи.

Повна діаграма деформування гірської породи (рис.3.1) відповідно до загальноприйнятих припущень представлена у вигляді трьох лінійних ділянок: OA- пружно-пластична стадія деформування, точка A – граничний стан, AB – стадія зміцнення, BB – розпушення на стадії «руйного» руйнування. Така діаграма характеризується чотирьома показниками: $\sigma_{ст}$ – межа міцності на одновісне стиснення порушеної породи, $\sigma_{ст}^0$ – залишкова міцність породи на

стиск (на стадії «руйного» руйнування), E – модуль деформації породи, M – модуль спаду. З урахуванням того, що в модель входять вугільний пласт і п'ять породних шарів, для кожного з яких необхідно варіювати чотирьома параметрами, дослідження по виявленню закономірностей зміни НДС системи представляються надзвичайно громіздкими. Тому зроблені два обмеження за результатами досліджень позамежного деформування алевроліту, відібраного на шахті «Степова» в Західному Донбасі. По-перше, заміряне відношення $\frac{\sigma_{ст}^0}{\sigma_{ст}} = 0,12...0,23$; тому з деяким запасом міцності в розрахунках прийнято постійне відношення $\frac{\sigma_{ст}^0}{\sigma_{ст}} = 0,1$. По-друге, заміряне відношення $\frac{M}{E} \approx 1,3$ прийнято постійним в подальших розрахунках НДС системи.

З метою зменшення кількості розрахунків в дослідженні граничного і позамежного стану прийнято 8 найбільш «різнополюсних» варіантів: №№ 1, 3, 7, 8, 10, 14, 16 и 18 з табл. 3.1, які повністю описують закономірності впливу $E_i^{K,II}$.

Інтервал зміни розрахункової межі міцності породи на одновісний стиск обраний на основі рекомендацій з розрахунку параметрів підтримання гірничих виробок, які розроблені на базі великих і багаторічних експериментальних досліджень у всіх регіонах Донбасу і, на наш погляд, найбільш вірогідно відображають геомеханічні умови експлуатації гірничих виробок.

Розрахунковий опір породи стиску $\sigma_{ст}$ в масиві відрізняються від такого значення в зразку $\sigma_{ст}^{об}$ і згідно з методикою визначаються за формулою:

$$\sigma_{ст} = K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_{ст}^{об}, \quad (2.1)$$

де K_1 – коефіцієнт, враховує додаткове порушення масиву поверхнями ослаблення (див. рис. 3.2); $K_1 = 0,4...0,6$ для вуглевмісних порід Західного Донбасу, що характеризуються середньою відстанню між поверхнями

ослаблення, які змінюються в інтервалі 0,1...1 м; K_2 – коефіцієнт, що враховує зміцнення обводнених порід; для вуглевмісних порід (аргіліти, глинисті алеволіти і слабкі обводнені пісковики) $K_2 = 0,5...0,6$.

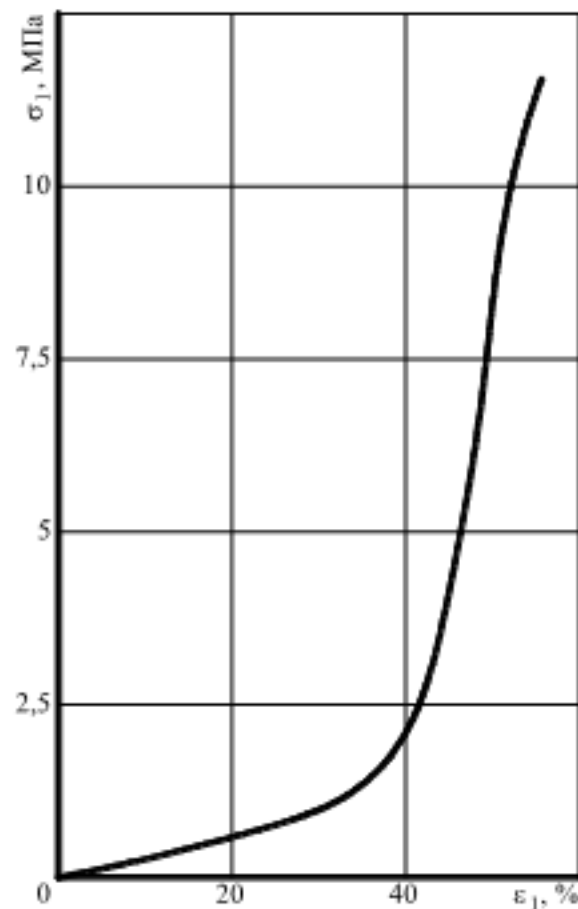


Рис. 3.2. Діаграма деформування бутової смуги в закріпленому просторі виїмкової виробки.

Таким чином, з урахуванням основних послаблюючих факторів розрахункова міцність порід на стиск в масиві у порівнянні з межею міцності породи на стиск складає:

$$\sigma_{ст} = (0,20 \dots 0,36) \sigma_{ст}^{об} \quad (2.2)$$

Численні дослідження величини $\sigma_{ст}^{об}$ для вуглевмісних порід систематизовані в нормативних документах по всіх шахтах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» і встановлено, що середнє значення змінюється в межах від

10,5МПа (ш. Павлоградська) до 28МПа (ш. Степова) при варіації $\sigma_{\text{ст}}^{\text{об}}$ від 6МПа (ш. ім. «Героїв Космосу») до 55МПа (ш. «Степова»). Тоді розрахункова межа міцності на стиск в масиві для порід Західного Донбасу змінюється в межах $\sigma_{\text{ст}} = 1,2 \dots 19,8\text{МПа}$. Даний інтервал варіації $\sigma_{\text{ст}}$ досить широкий і для детального вивчення його впливу на НДС вуглевмісної породної товщі дослідження граничного (поза межного) стану системи проведені на першому етапі для інтервалу $\sigma_{\text{ст}} = 5 \dots 20\text{МПа}$. При необхідності досліджень нижчих значень $\sigma_{\text{ст}} = 1,2 \dots 5\text{МПа}$ проводилися додаткові розрахунки НДС системи.

З огляду на викладені вище фактори, розрахунки виконані по 27 варіантам співвідношень міцності на стиск прилеглих породних шарів, які наведені в табл. 3.1.

Другий породний шар підшви і третій шар покрівлі також моделюються повною діаграмою деформування породи, але з постійною межею міцності породи на одновісний стиск $(\sigma_{\text{ст}}^{\text{п}})_2 = (\sigma_{\text{ст}}^{\text{к}})_3 = 10\text{МПа}$. Таке припущення зумовлено відносно невеликим впливом (до 10%) міцності крайніх породних шарів на величину зміщення породного контролю виробки пласта. Це пояснюється тим, що, як встановлено раніше, зони граничного стану в ґрунті і покрівлі виробки, як правило, локалізуються в довколишніх породних шарах і не зачіпають крайні породні шари моделі.

Вугільний пласт також моделюється по повній діаграмі деформування (див. рис. 3.1) при вихідних параметрах $\sigma_{\text{ст}}^{\text{у}} = 30\text{МПа}$, $E^{\text{у}} = 0,35 \cdot 10^4\text{МПа}$,

$$\frac{M^{\text{у}}}{E^{\text{у}}} = 1,3; \frac{(\sigma_{\text{ст}}^{\text{у}})^0}{\sigma_{\text{ст}}^{\text{у}}} = 0,1 \text{ [98]}.$$

Рамне кріплення відчуває досить значні деформації по всьому контуру. Тому змодельована реальна діаграма поведінки сталі Ст5, що враховує майданчик плинності при настанні граничного стану $\sigma = \sigma_{\text{т}} = 270\text{МПа}$, а також стадію зміцнення металу до величини $\sigma = \sigma^{\circ} = 500 \dots 620\text{МПа}$ (тут позначено через $\sigma_{\text{т}}$ і σ° відповідно межа плинності і тимчасовий опір на розрив сталі

Ст5, з якої зазвичай виготовляється рамне кріплення зі спец. профілю СВП.

Таблиця 3.1

Варіанти розрахункової границі міцності на одновісний стиск прилеглих породних шарів вуглевмісної товщі.

Варіант	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{П}})_1$ МПа	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{К}})_1$ МПа	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{К}})_2$ МПа	Варіант	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{П}})_1$ МПа	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{К}})_1$ МПа	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{К}})_2$ МПа	Варіант	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{П}})_1$ МПа	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{К}})_1$ МПа	$(\sigma_{\text{CT}}^{\text{К}})_2$ МПа
1	5	5	5	10	5	5	20	19	5	20	10
2	5	10	5	11	10	5	20	20	10	20	10
3	5	20	5	12	10	10	20	21	20	20	10
4	10	10	5	13	5	10	20	22	5	5	10
5	20	10	5	14	5	20	20	23	10	5	10
6	10	20	5	15	10	20	20	24	20	5	10
7	20	20	5	16	20	5	20	25	5	10	10
8	20	5	5	17	20	10	20	26	10	10	10
9	10	5	5	18	20	20	20	27	20	10	10

Особливості граничного і позамежного деформування затяжки полягає в тому, що вона відчуває вільний прогин в порожнину виробки на ділянці між двома сусідніми рамами. Тому при настанні граничного стану $\sigma = \sigma_{\text{CT}}^3$ відбувається її руйнування в районі серединного розвитку прольоту, розвиваються значні переміщення затягування в порожнину виробки і вона істотно втрачає свою несуче здатність. У зв'язку з цим, на наш погляд, доцільно моделювати позамежне деформування затяжки також повною діаграмою (рис. 3.1), але з двома особливостями: модуль спаду її матеріалу прагне до нескінченності, $(\sigma_{\text{CT}}^0)^3 = 0$

Останнім модельованим елементом системи є закріпний простір, заповнений зруйнованою породою - забутовкою. Механічні характеристики зруйнованої і ущільнюючої (за рахунок проявів гірського тиску) гірської породи докорінно змінюються і для їх оцінки доцільно використовувати експериментальні дані по навантаженню охоронних бутових смуг в ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», що мають подібну закріпну структуру і умови

обмеженого деформування. За результатами шахтних експериментів даної роботи побудована реальна діаграма навантаження бутової смуги (рис. 3.2).

У висновку слід зазначити, що, оскільки моделювання повних діаграм деформування елементів системи передбачає «покроковий» розрахунок сітки кінцевих елементів, то глибина розташування пластової виробки змінюється плавно в інтервалі $200\text{ м} \leq H \leq 600\text{ м}$, що дозволяє більш чітко визначати гірничо-геологічні умови переходу порід, які вміщують виробку в граничну і позамежну стадії деформування.

3.1. Вплив на НДС системи характеристик міцності породних шарів вуглевмісної товщі

Аналіз тенденцій зміни поля напружень і деформацій в системі «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» при різній величині межі міцності прилеглих породних шарів на одновісний стиск проілюстрований на прикладі глибини розробки вугільного пласта $H=400\text{ м}$ для варіанта №1 (табл. 3.1), в якому модуль деформації всіх прилеглих породних шарів однаковий і має мінімальне значення $E_1^{K,II} = 0,3 \cdot 10^4\text{ МПа}$.

Однією з важливих складових оцінки стійкості пластових виробок є величина пучення порід підпошви. Картина зрушення вуглевмісної товщі в порожнину виробки представлена на векторній епюрі повних переміщень (рис. 3.3), напрямок яких задано відповідною стрілкою, а величина визначається довжиною цієї стрілки. Слід зазначити якісне співвідношення отриманої векторної епюрі з уявленнями, розвинутими в роботах:

- чітко простежується механізм так званого «видавлювання» порід підпошви виробки за рахунок дії опорного тиску в її боках;
- в підпошві пласта, в тому числі і під стійками рамного кріплення, відбувається інтенсивне переміщення породи в площині нашарування, що призводить до деформації стійок рами і зниження її стійкості;
- максимальне переміщення підпошви в порожнину виробки має місце в її центральній частині, що і спостерігається на практиці.



Рис. 3.3. Векторне подання епюр повних переміщень вуглевміщуючих породних шарів в околиці пластової виробки.

Таким чином, досліджувана модель якісно відображає геомеханічні процеси здимання підшви в пластовій виробці, пройденої в слабкому шаруватому масиві.

В першу чергу проаналізовано вплив міцності σ_{CT} та σ_{CT}^0 повної діаграми деформування прилеглих породних шарів на величину вектору їх повного переміщення.

На глибині розташування пластової виробки $H = 400\text{ м}$ в граничній і позамежний стан (по критерію $\sigma \geq \sigma_{\text{CT}}$) можуть переходити як породні шари в цілому, так і тільки деякі їх області. Це обумовлює наявність як загальних (незалежно від величини σ_{CT}), так і відмінних рис в епюрах повних переміщень системи (рис. 3.4 і рис. 3.5).

Загальні риси епюр повних переміщень зводяться до наступного:

- вертикальні переміщення в покрівлі виробки змінюють напрямок в її боках в межах $40^\circ \dots 60^\circ$ до площини нашарування, а в ґрунті штреку напрямок переміщень змінюється від 0° під опорами стійок рами до 90° в районі вертикальної осі виробки; як буде показано нижче активізація процесу здимання підосви виробки відбувається при переході значного обсягу порід (особливо породних шарів ґрунту пласта) в позамежний стан на стадії розпушення;

- процес переміщення породи в порожнину виробки зачіпає і другий породний шар підосви пласта, розташований на глибині п'яти метрів від нього; тому пучення підосви виробки можна розглядати як локальне явище в приконтурних породах, нейтралізація якого повинна здійснюватися методами управління НДС системи «масив-кріплення» в напрямку його мінімізації;

- якісні картини епюр переміщень подібні: у другому і третьому породних шарах покрівлі відбуваються практично вертикальні переміщення масиву, які зачіпають і перший шар покрівлі пласта, але тільки в центральній області зводу виробки на кордоні моделі; в проміжку між цими областями відбувається зміна напрямку переміщення порід першого шару покрівлі, яке інтенсифікується в вугільному пласті і в породних шарах підосви за межами вертикальних кордонів виробки і наближається до горизонтального; в боках виробки виникає подоба напівеліпса епюр переміщень з більшою віссю, витягнутої в площині нашарування; в ґрунті пласта якісна епюра переміщень в значній мірі є «дзеркальним» відображенням відносно вугільного пласта переміщень в покрівлі, але переважно вертикальна спрямованість в порожнину виробки має місце тільки в районі її вертикальної осі.

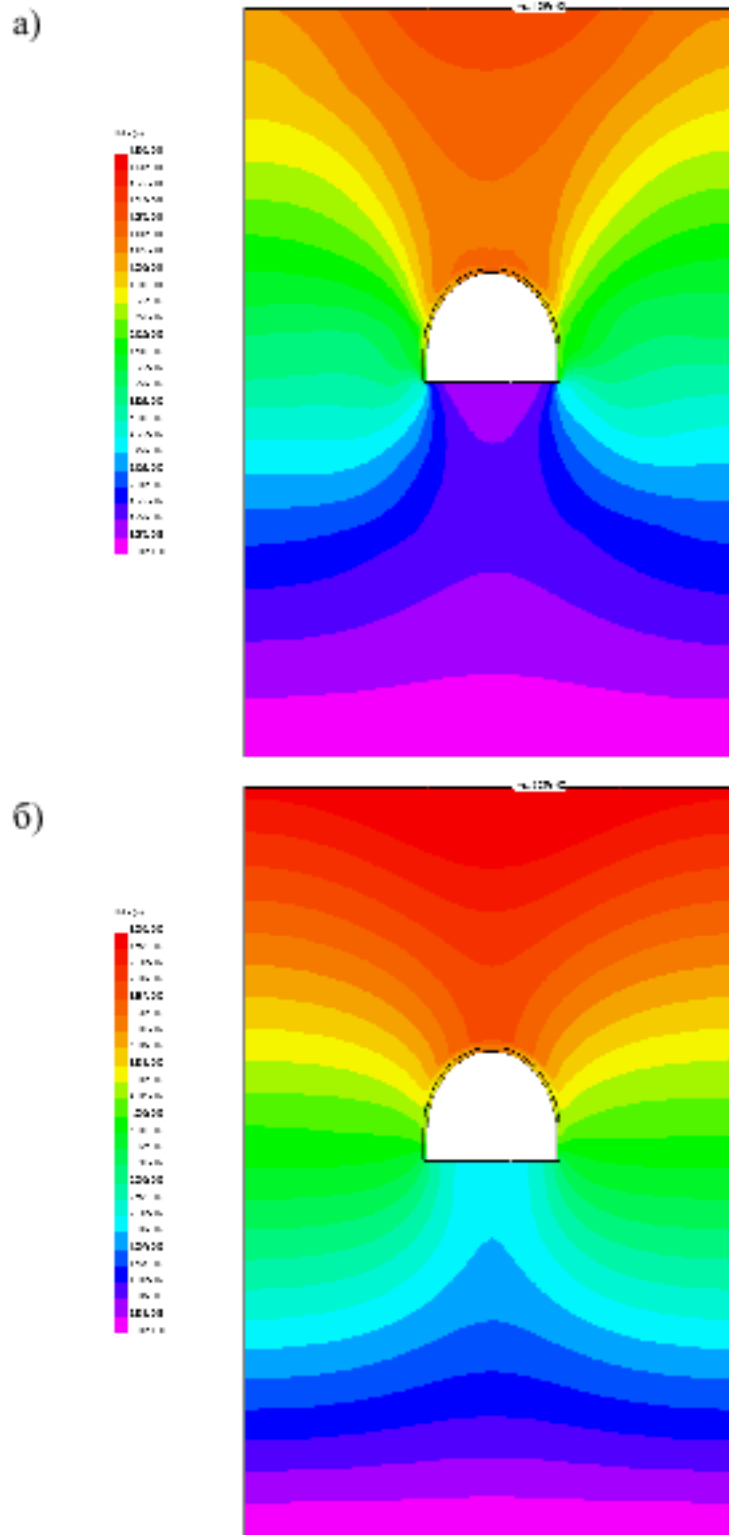


Рис. 3.4. Епори повних переміщень в моделі на глибині $H = 400$ м для варіантів характеристики міцності шарів вуглевмісної товщі: а – №1; б – №18

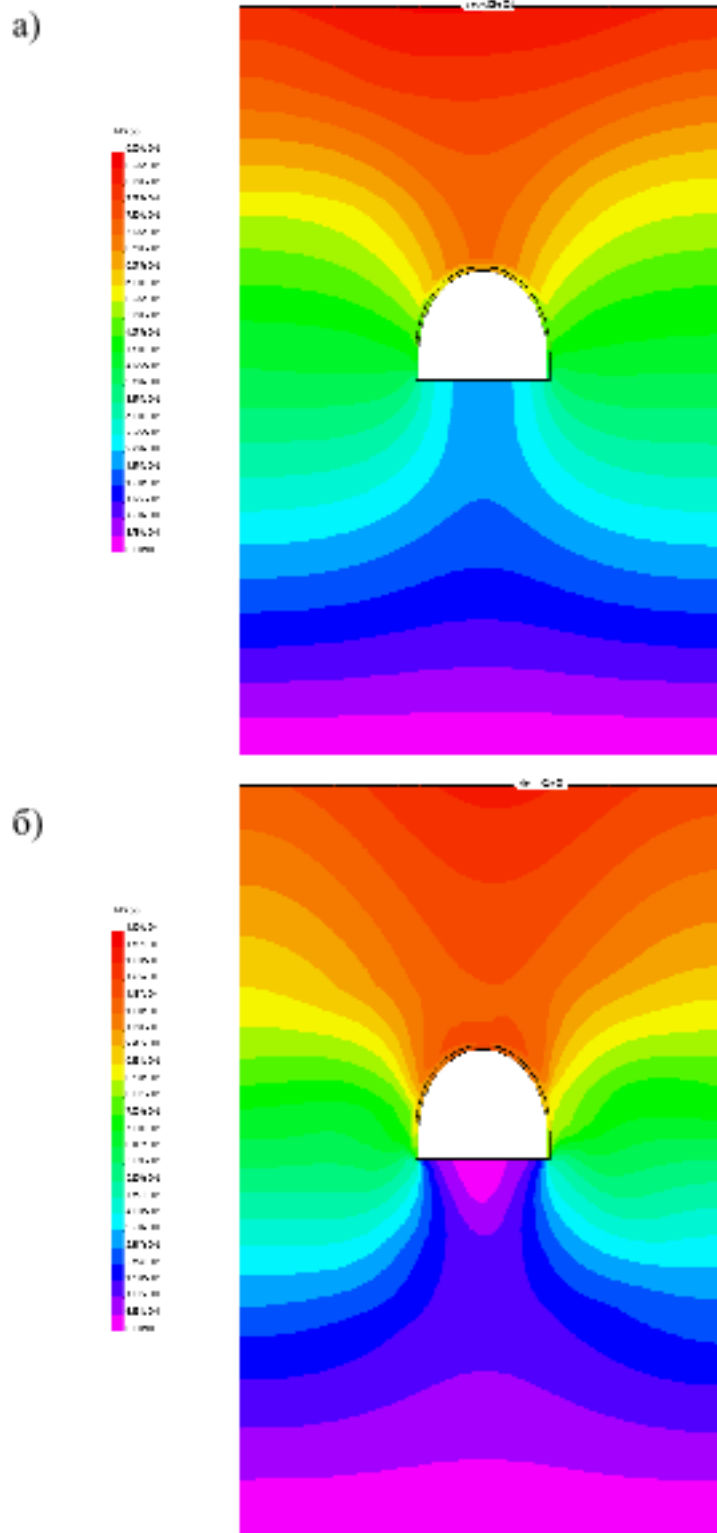


Рис. 3.5. Епори повних переміщень в моделі на глибині $H = 400$ м для варіантів характеристики міцності шарів вуглевмісної товщі: а – №7; б – №10

Аналіз епюр повних переміщень в моделі виявив і відмінні риси, пов'язані з різницею в характеристиках міцності прилеглих породних шарів вуглевмісної товщі:

- величина переміщень в зведеній виробці тим більше, чим менше межа міцності породних шарів на одновісний стиск. Так, у варіанті №1 ($\sigma_{\text{CT}} = 5 \text{ МПа}$ для всіх довоколишніх породних шарів, див. табл. 3.1) величина зсувів становить $U = 960 \dots 1310 \text{ мм}$, тоді як у варіанті №18 ($\sigma_{\text{CT}} = 20 \text{ МПа}$), $U = 160 \dots 260 \text{ мм}$. Також звертає увагу деякий вплив характеристик міцності другого породного шару покрівлі: при збільшенні в чотири рази $\sigma_{\text{CT2}}^{\text{K}}$ (з 5 МПа до 20 МПа) у варіанті №10 в порівнянні з варіантом №1 зміщення знизилися до 740 ... 930 мм; в діаметрально протилежному варіанті №7, коли $\sigma_{\text{CT2}}^{\text{K}}$ знижується в чотири рази з 20 МПа до 5 МПа (в порівнянні з варіантом №18), зміщення в покрівлі штреку збільшуються на 31...33%;

- величина переміщень в боках виробки істотним чином залежить від характеристик міцності тільки перших шарів покрівлі і підшви пласта. При порівнянні граничних варіантів №1 і №18 повне зміщення в боках виробки знижується в 4,75 ... 5,91 рази. Вплив $\sigma_{\text{CT2}}^{\text{K}}$ в досліджуваному діапазоні не перевищує 17,5%;

- в підшві виробки в її центральній частині зсуви становлять 63 мм (варіант №18) і 1050 мм (варіант №1) при $H = 400 \text{ м}$;

- зміщення породи в районі опор стійок рами мають напрямок, практично збігається з площиною нашарування, і в меншій мірі залежать від характеристик міцності породних шарів безпосередньої покрівлі. Величина зсувів у варіанті №1 в 2,9 ... 4,1 рази вище, ніж у варіанті №18, де міцності шарів збільшені в чотири рази. Вплив другого породного шару покрівлі як і раніше мало і не перевищує 23,5%.

З проведеного аналізу впливу характеристик міцності прилеглих шарів (на глибині 400 м) на величину зсувів породного контуру виїмкового штреку переважно впливають характеристики міцності перших породних шарів покрівлі і підшви пласта при вельми помірному впливі міцності другого породного шару покрівлі.

Основні особливості впливу характеристик міцності прилеглих породних шарів на епюру розподілу горизонтальних напружень зводяться до наступного. Перша найбільш характерна особливість полягає в більш однорідному розподілі σ_x при зниженій міцності прилеглих породних шарів (варіант №1, табл. 3.1) в порівнянні з вельми нерівномірним полем σ_x при підвищенні міцності вуглевмісного масиву в варіанті №18 (рис. 3.6). На наш погляд, це пов'язано з тим, що у варіанті №1 прилеглі породні шари покрівлі і підшви пласта практично повністю знаходяться в граничному (поза межному) стані, коли підвищена деформаційна здатність породи згладжує локальні концентрації напружень і нівелює зони розвантаження та опорного тиску. У варіанті №18 лише деяка частина порід, в основному в зоні опорного тиску, що примикає до боків виробки, переходить в граничний стан. Тому тут характерні значні перепади σ_x , виявлені раніше при дослідженні до граничного стану системи.

У кількісному плані викладена особливість має такі параметри. У варіанті №1 в породах покрівлі і ґрунту (в переважній частині обсягу моделі) діапазон зміни становить 7,5 ... 9,2 МПа і вся ця область відчуває напруги стиснення. величина σ_x також побічно вказує на перехід прилеглих породних шарів в граничний стан, оскільки відношення $\frac{\sigma_x}{\gamma H}$ наближається до одиниці (тобто є, гідростатичному напруженому стані), тоді як початковий стан моделі задано негідростатичним ($\frac{\sigma_x}{\gamma H} = \frac{1}{3}$, $\mu_i^{K,П} = 0,25$). Отже, моделювання повних діаграм деформування породи (рис. 2.1) забезпечує автоматичний облік відомого факту зміни коефіцієнта поперечної деформації при переході породи в граничне і поза межне стан. У підшві виробки є зона щодо відносного знижених стиснення напружень $\sigma_x = 5,5...6$ МПа. Але, ця зона, по-перше, досить обмежена з максимальною глибиною по центру вироблення до $0,33l_0$, а, по-друге, порода в ній все одно знаходиться в граничному стані від дії виключно стискаючих напружень. Другий факт слід особливо відзначити, оскільки він провокує інтенсивне спучення підшви виробки. У цьому ж першому породному шарі ґрунту під опорами стійок рамного кріплення і в області контакту з вугільним пластом на відстані $(0,5 \dots 0,75)l_0$ від стійок спостерігається підвищена концентрація 10 МПа, що свідчить про поза межний стані даних областей з інтенсивним розпушуванням породи, що переміщається в площині нашарування в порожнину виробки. Наведена особливість також сприяє розвитку процесу здимання порід підшви виробки.

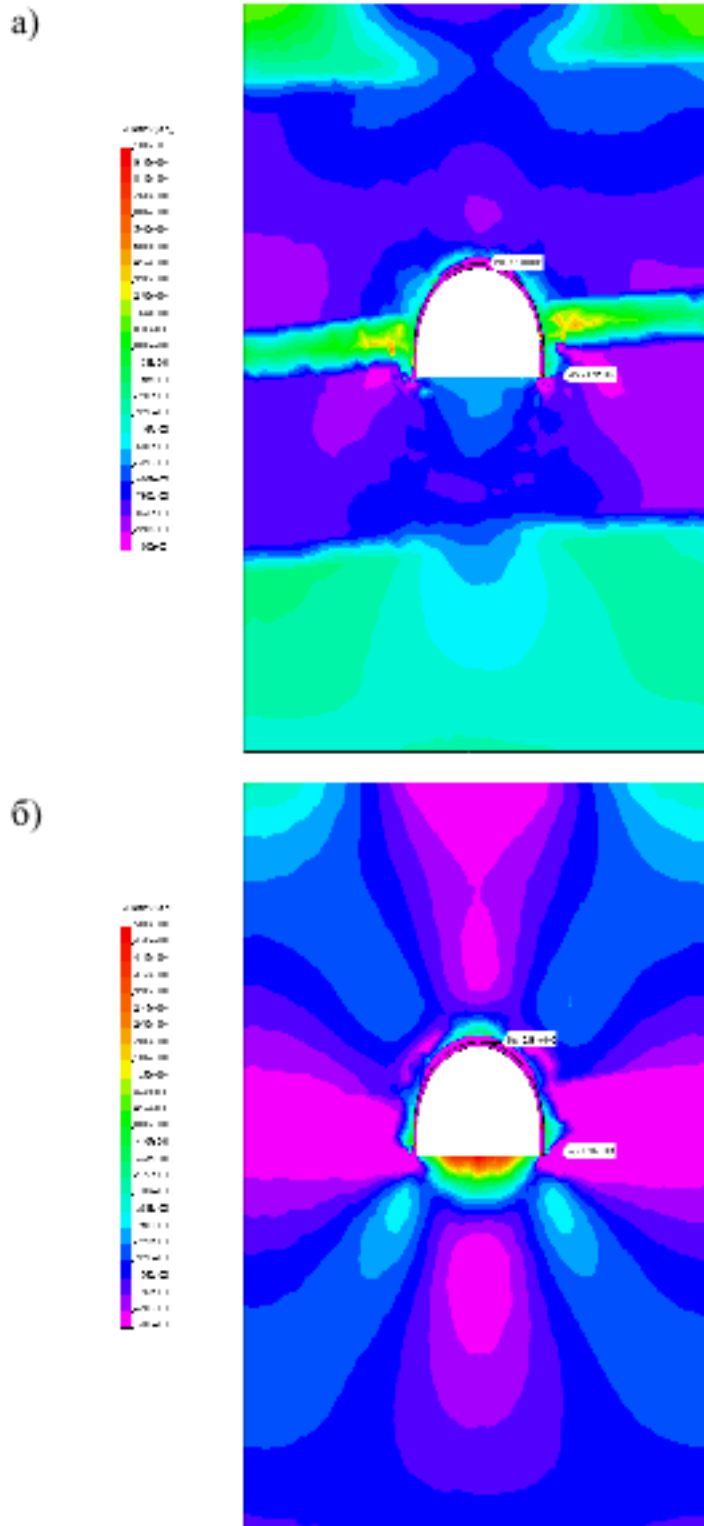


Рис. 3.6. Епюри горизонтальних напружень σ_x ($H = 400$ м) у вуглевмісній товщі для варіантів міцності породних шарів: а – №1; б – №18

Узагальнена оцінка стану рамного кріплення проведена за величиною наведених напружень σ і їх порівнянні з повною діаграмою деформування сталі Ст5 з урахуванням майданчиків плинності і ділянки зміцнення сталі до величини тимчасового опору σ^a .

Для варіанту №1 знижених характеристик міцності всіх прилеглих породних шарів спостерігається (рис. 3.7, а) досить однорідна еюра розподілу σ по контуру рами: інтервал коливань σ змінюється від 245 МПа до 278 МПа. Максимальне значення $\sigma = 305$ МПа має місце на кордоні опори стійки рами з опорною плитою і обумовлено контактними напруженнями в дуже обмеженій області.

Такий досить рівномірний розподіл σ пояснюється, на наш погляд, двома причинами:

- по-перше, в варіанті №1 практично весь породний масив в околиці штреку знаходиться в граничному стані з підвищеними деформаційними властивостями, за рахунок яких виникають на до граничній стадії концентрації навантажень на раму згладжуються і відбувається більш-менш рівномірний «обтиснення» рами по її контуру;

- по-друге, сам матеріал рами (сталь Ст5) у багатьох перетинах зі свого контуру знаходиться в напруженому стані, відповідному майданчику плинності; що виникають при цьому пластичні шарніри в даних перетинах завдяки своїй податливості перерозподіляють поле напружень в рамі в напрямку згладжування концентрацій напружень і завантаження недовантажених ділянок її контуру.

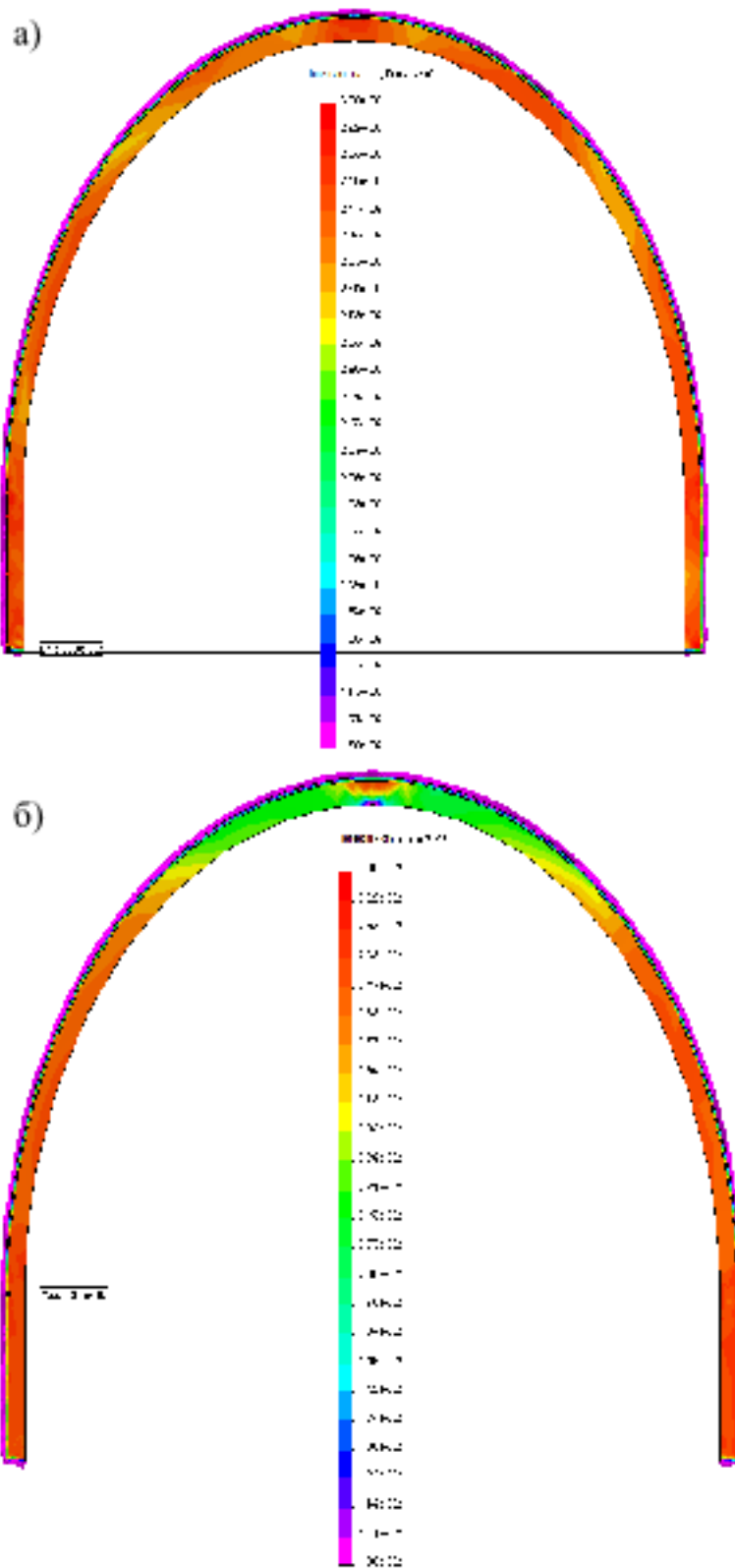


Рис. 3.7. Епюри приведених напружень σ у рамному кріпленні (H = 400 м) для варіантів міцності породних шарів вуглевмісної товщі: а – №1; б – №18

Для варіанту №18 підвищених характеристик міцності всіх прилеглих породних шарів спостерігається (рис. 3.7, б) більш високий ступінь неоднорідності епюри розподілу σ по контуру рами від 180 МПа до 283 МПа. Максимум $\sigma = 296$ МПа розташовується вгорі прямолінійною частини стійки рами і вказує на її пластичний вигин ($296 \text{ МПа} > \sigma_T$) в порожнину виробки під впливом косонаправлених переміщень при контурних порід в її боках і практично горизонтальних переміщень під опорами стійок рамного кріплення. Величина максимуму σ у варіанті №18 менше такого для варіанта №1 всього на 3%. Це обумовлено граничним станом рамного кріплення в обох варіантах незалежно від міцності прилеглих породних шарів (в інтервалі $\sigma_{CT} = 5 \dots 20$ МПа), коли різко збільшена деформаційна здатність сталі на майданчику плинності і початковій ділянці зміцнення не викликає яких-небудь істотних змін напружень.

Відмінності епюр σ у варіанті №18 і №1 стосуються в основному зводу виробки, де відносно знижена величина $\sigma = 210 \dots 250$ МПа у варіанті №18 обумовлена, на наш погляд, до граничним станом при контурних порід покрівлі. У замку склепіння спостерігається інтенсивний вигин рами, якісно подібний епюрі σ при до граничної деформації системи, що також пояснюється наведеними вище причинами.

Зміна міцності другого породного шару покрівлі в чотири рази (варіанти №7 і №10) практично не впливає на епюри розподілу σ в рамному кріпленні

3.2. Тенденції зміни НДС системи в залежності від співвідношення деформаційних характеристик шаруватого масиву.

При обґрунтуванні геомеханічної моделі на стадії до граничного деформування системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» встановлено істотній зв'язок її НДС з величинами і співвідношеннями модулів деформації $E_1^{K,II}$ прилеглих породних шарів. Тому природно припустити, що і на стадіях граничного і позамежного деформування буде простежуватися зв'язок НДС системи з деформаційними характеристиками вуглевмісної товщі, що обумовлено наступними причинами:

- певні області системи як і раніше знаходяться в до граничному стані, де вплив $E_i^{K,II}$ доведено;

- на стадії зміцнення породи (рис. 3.8) така деформаційна характеристика, як модуль спаду $M_i^{K,II}$, безпосередньо пов'язана з модулем деформації породи на до граничній стадії;

- початок стадії розпушення залежить (по параметру деформації на (рис. 3.8) від величин $E_i^{K,II}$ і $M_i^{K,II}$.

Спочатку аналіз напруженого стану виконаний по горизонтальній компоненті σ_x , найнаочніше відображає прогини шарів вуглевмісної товщі.

На прикладі знижених і підвищених характеристик міцності всіх прилеглих породних шарів відзначимо, що епюри в якісно-кількісному відношенні схожі один з одним незалежно від їх деформаційних властивостей (попарне порівняння епюр на рис. 3.8; рис. 3.9 і рис. 3.6, б). Деякі особливості полягають в наступному:

➤ при знижених деформаційних характеристиках породних шарів відбувається більш чітке розмежування в покрівлі штреку областей підвищеного і зниженого σ_x (по відношенню до початкової величини $\sigma_x = \frac{\gamma H}{3}$), що обумовлено більш інтенсивним вигином шарів покрівлі; тут слід зазначити, що на відміну від до граничного стану, в покрівлі виробки діють тільки стискають σ_x ;

➤ при знижених деформаційних характеристиках породних шарів менше області дії і величина розтягують σ_x в безпосередній підшві виробки, але вище стискають σ_x на межі першого і другого шарів підшви;

➤ перший породний шар підшви з підвищеною деформативністю (за винятком обмеженої області, що безпосередньо примикає до вироблення) більш рівномірно навантажений стискають σ_x без яскраво виражених проявів згинального моменту в цьому шарі.

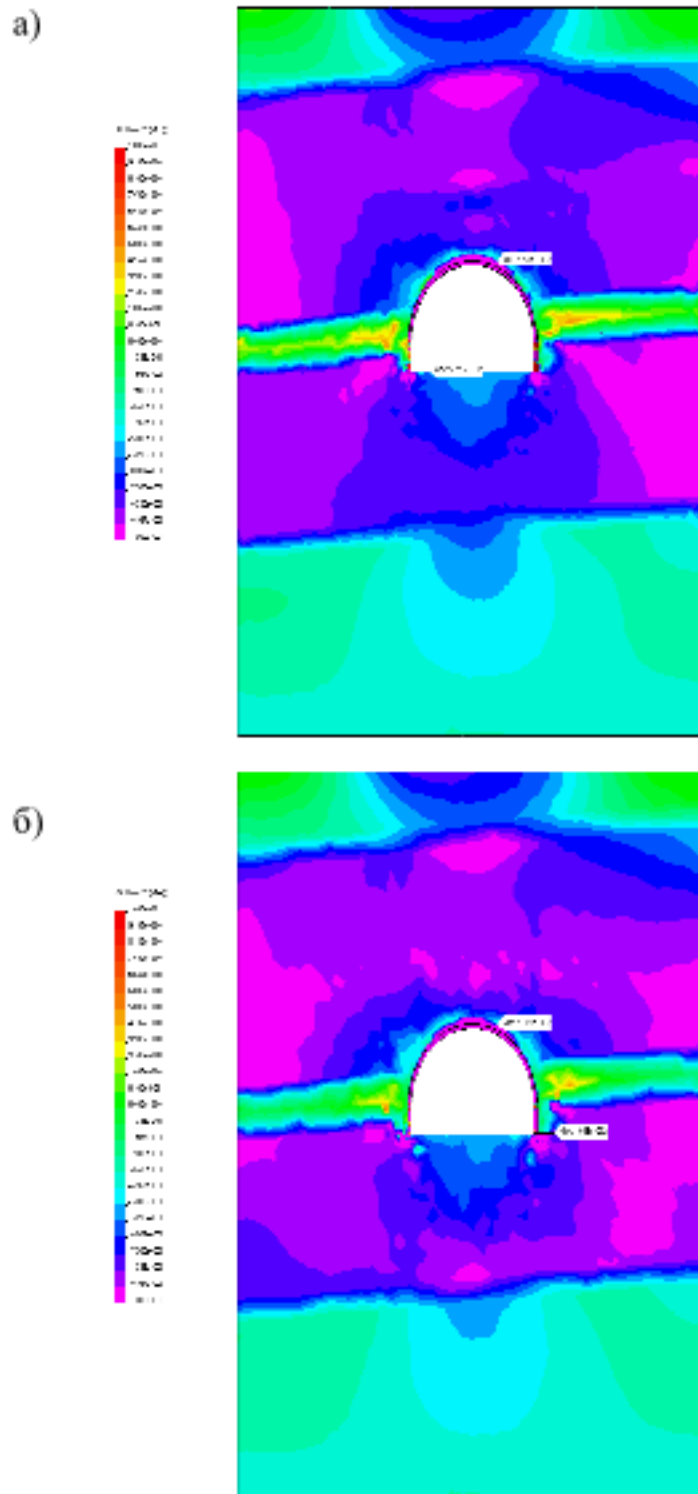


Рис. 3.8. Епюри горизонтальних напружень σ_x при знижених характеристиках міцності всіх прилеглих породних шарів (див. табл. 3.1) за варіантами їх деформаційних властивостей: а – №10; б – №18

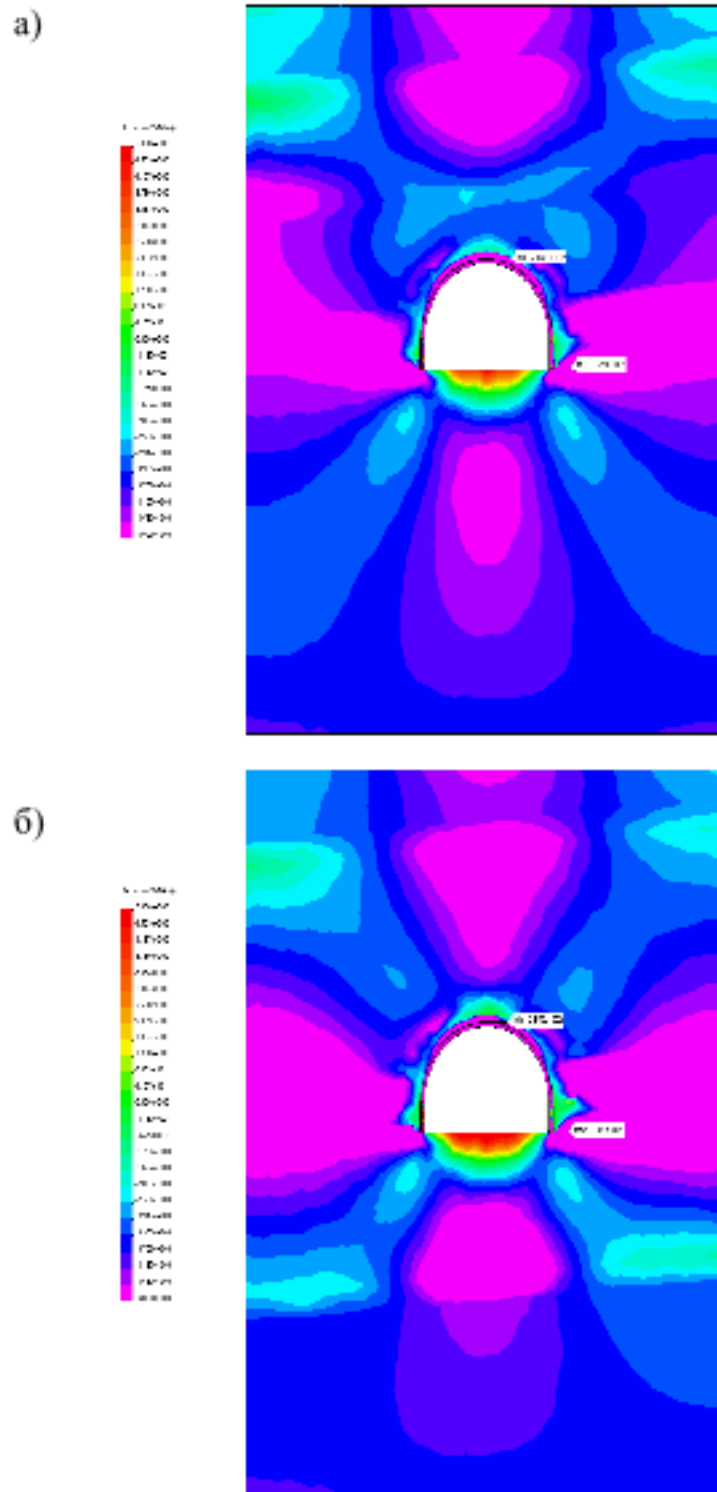


Рис. 3.9. Епюри горизонтальних напружень σ_x при підвищених характеристиках міцності всіх прилеглих породних шарів (див. табл. 3.1) за варіантами їх деформаційних властивостей: а – №10; б – №18

В інших найбільш «різнополюсних» варіантах (№10 і №7 по табл. 3.1) розподілу міцності прилеглих породних шарів тенденції впливу їх деформаційних властивостей на епюри σ_x аналогічні наведеним вище.

При підвищених характеристиках міцності всіх прилеглих породних шарів епюри σ в основному аналогічні один одному незалежно від розподілу їх деформаційних властивостей (рис. 3.10). Виняток становлять:

- більш велика зона розвантаження в підшві при знижених деформаційних характеристиках шарів, що обумовлено їх підвищеним переміщенням в порожнину виробки;

- дещо зросла концентрація σ в боках виробки при підвищених деформаційних характеристиках породних шарів, що пояснюється в основному до граничним станом цих областей.

Основний висновок з проведених досліджень досить очевидний: в граничному (поза межному) стані породних шарів (або деяких їх областей) деформаційні властивості останніх в меншій мірі впливають на напружений стан вуглевмісної товщі в порівнянні з характеристиками міцності.

За результатами аналізу епюр переміщень в шаруватій вуглевмісній товщі в околиці виробки пласта (рис. 3.10 і рис. 3.11) можна зробити висновок про суттєвий вплив на поле переміщень деформаційних характеристик не тільки перших породних шарів покрівлі та підшви, але і другого шару покрівлі, що слід враховувати при розробці методики прогнозу проявів гірського тиску.

У рамного кріплення якісно-кількісний аналіз епюр розподілу σ в залежності від $E_i^{K,II}$ виявив такі особливості (рис. 3.12 і рис. 3.13):

- при знижених характеристиках міцності всіх прилеглих породних шарів зменшення $E_i^{K,II}$ сприяє більш рівномірному розподілу σ по контуру рами: наявні області зниження $\sigma = (0,90...0,93)\sigma_T$ зменшуються в приближенні $\sigma = (0,93...0,98)\sigma_T$ до межі плинності сталі Ст5; велика частина обсягу рамного кріплення знаходиться в пластичному або близькому до нього станах;

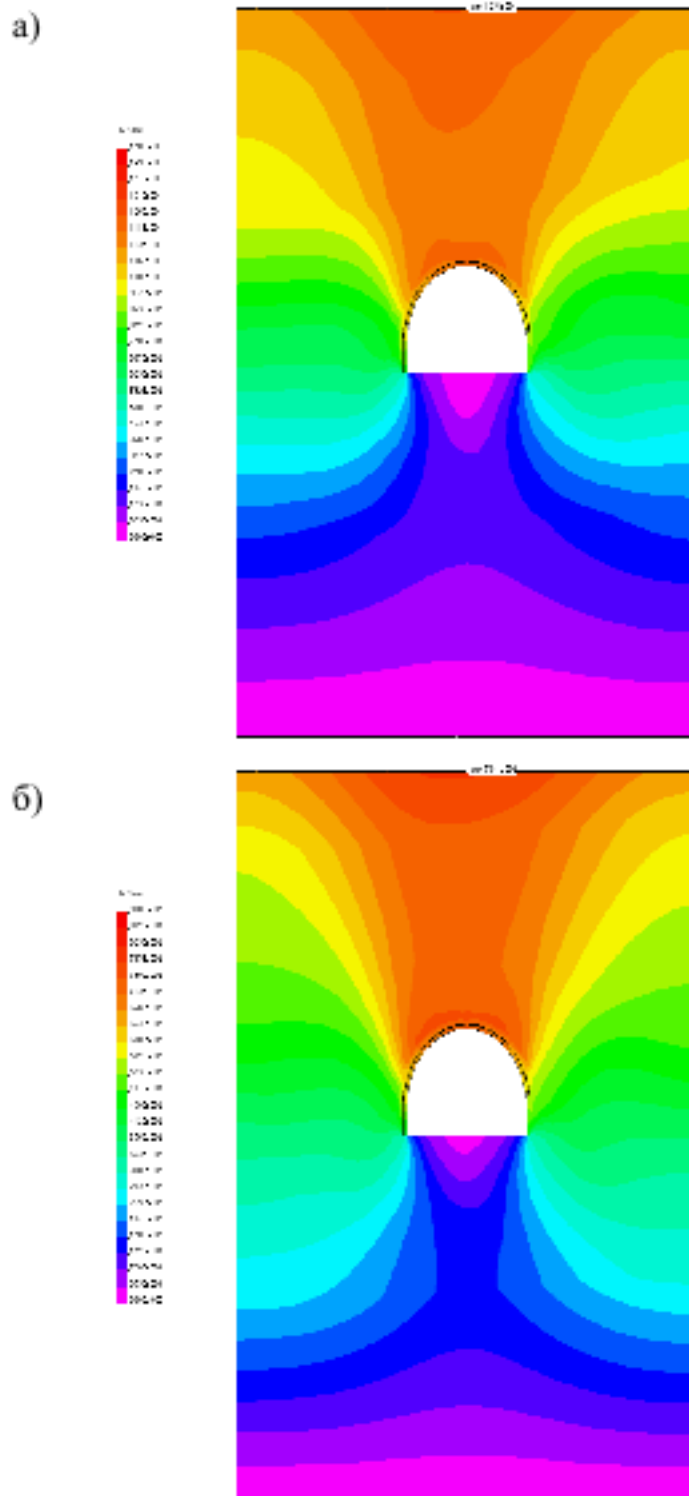


Рис. 3.10. Епюри повних переміщень при знижених характеристиках міцності всіх прилеглих породних шарів (див. Табл. 3.1) за варіантами їх деформаційних властивостей : а – №10; б – №18

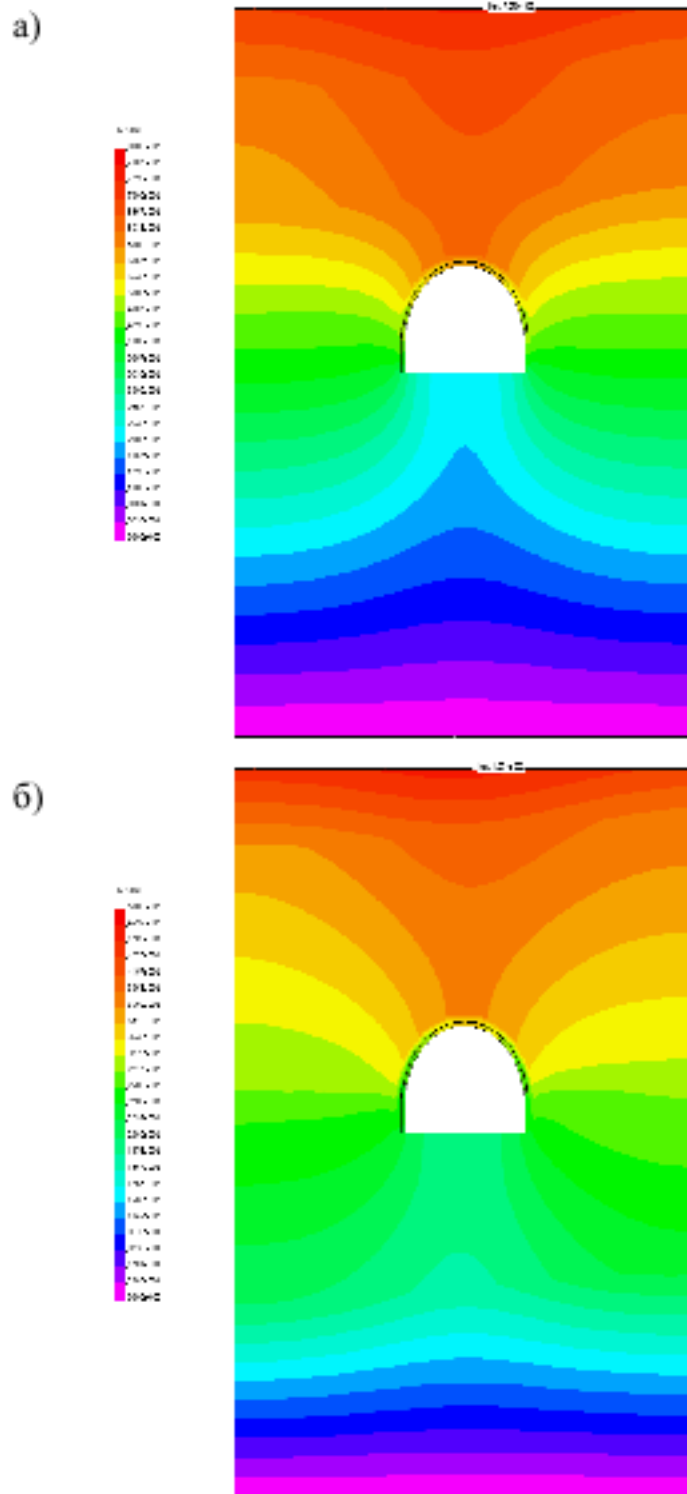


Рис. 3.11. Епюри повних переміщень при підвищених характеристиках міцності всіх прилеглих породних шарів (див. табл. 3.1) за варіантами їх деформаційних властивостей: а – №10; б – №18

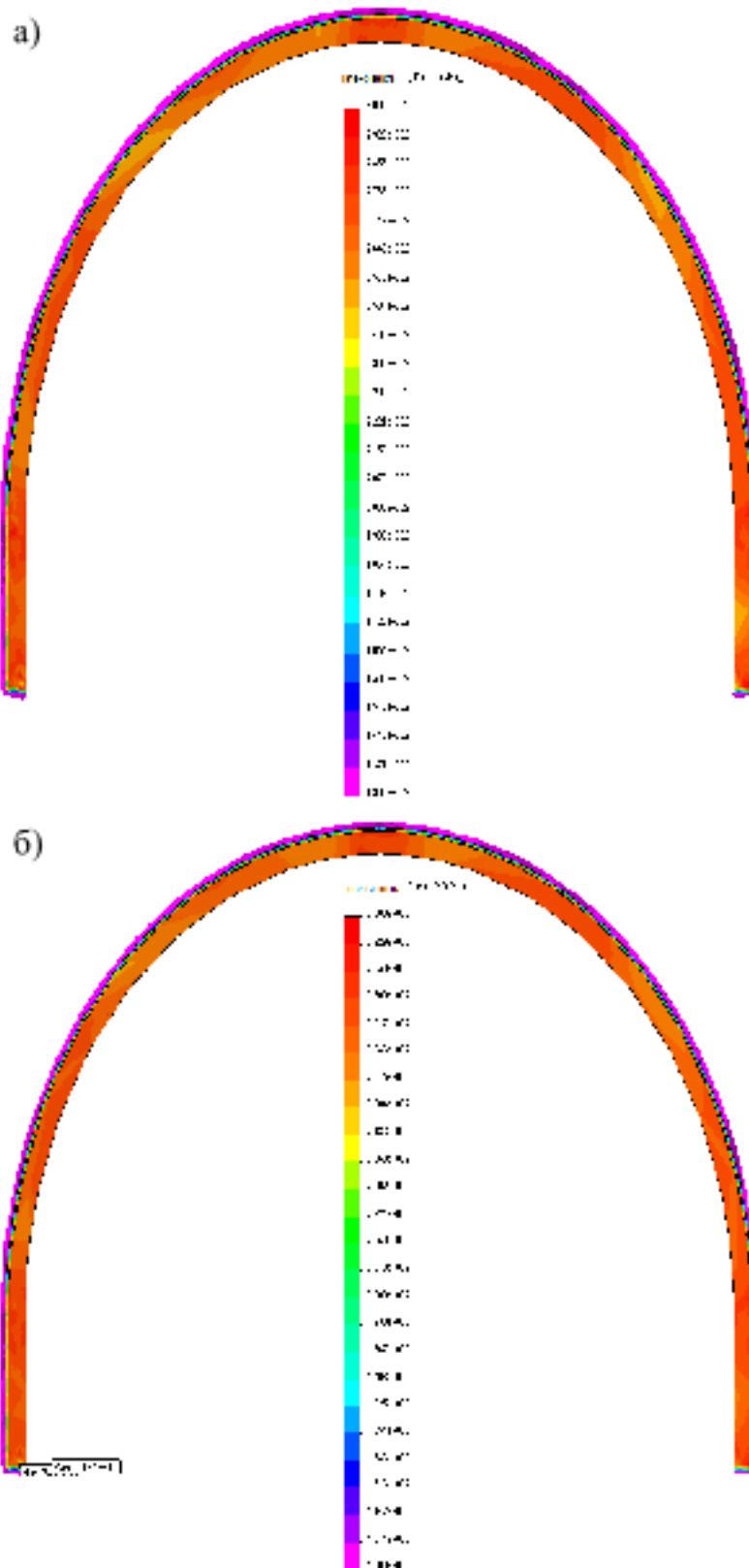


Рис. 3.12. Епюри приведених напружень σ для варіанта №1 міцності породних шарів (див. табл. 3.1) за варіантами їх деформаційних властивостей : а – №10; б – № 18

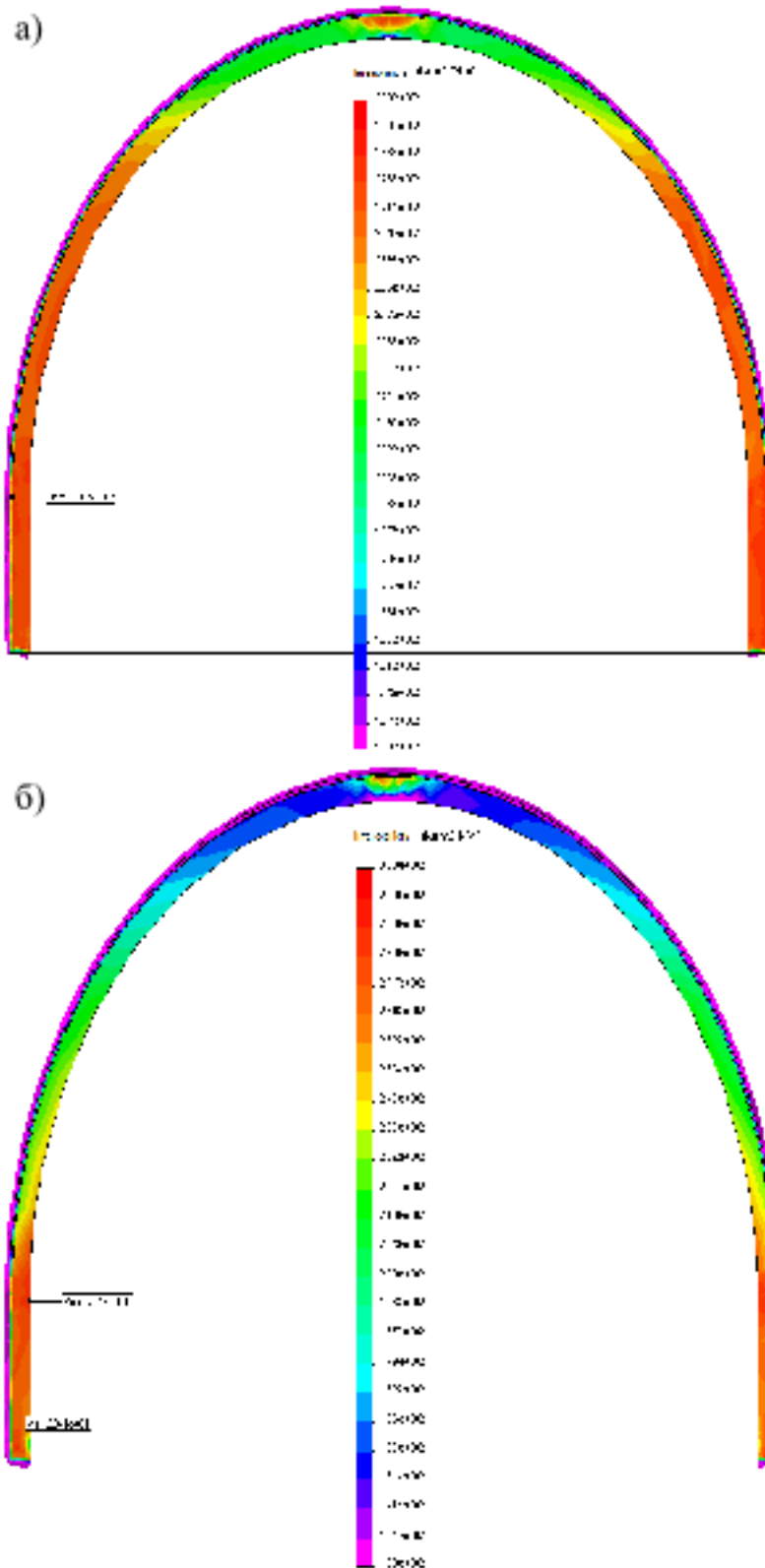


Рис. 3.13. Епюри приведених напружень σ для варіанта №18 характеристик міцності породних шарів (див. табл. 2.1) за варіантами їх деформаційних властивостей: а – №10; б – №18

– при підвищених характеристиках міцності породних шарів збільшення $E_1^{K,II}$ сприяє деякому розвантаженню зводу рами до $(0,56...0,81)\sigma_T$, особливо в районі замку склепіння; це пояснюється збільшенням жорсткості породних шарів, що підвищує опір їх прогину і частково розвантажує звід рами;

- мінімум наведених напружень знаходиться в закріпному просторі в нижній частині прямолінійної ділянки стійки рами, а сама величина $\sigma = 0,2...0,5$ МПа в забутівці закріпного простору вказує, що вона знаходиться ще в стадії ущільнення з підвищеною деформаційною здатністю (див. рис. 3.2), завдяки чому до деякої міри згладжується еюра навантаження на раму.

Загальний висновок за результатами оцінки впливу деформаційних характеристик прилеглих породних шарів на НДС системи в граничному (поза межному) стані наступний:

- напружений стан вміщує штрек породного масиву і, особливо, рамного кріплення не має настільки тісного зв'язку з деформаційними характеристиками породних шарів як з їх властивостями міцності;

- еюра переміщень системи, в тому числі і контуру виробки, знаходиться в тісному зв'язку з деформаційними характеристиками всіх прилеглих породних шарів.

3.3. Вплив розташування виробки на напружено-деформований стан геомеханічної системи

За аналогією з попередніми дослідженнями напруженого стану вуглевмісної товщі породного масиву проаналізовано зміни компонентів σ_x і σ_y з ростом глибини розташування виробки.

При знижених міцності і деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів (рис. 3.14) спостерігається наступні особливості еюри σ_x , пов'язані з переходом частини масиву з дограничного в граничний і поза межний стан:

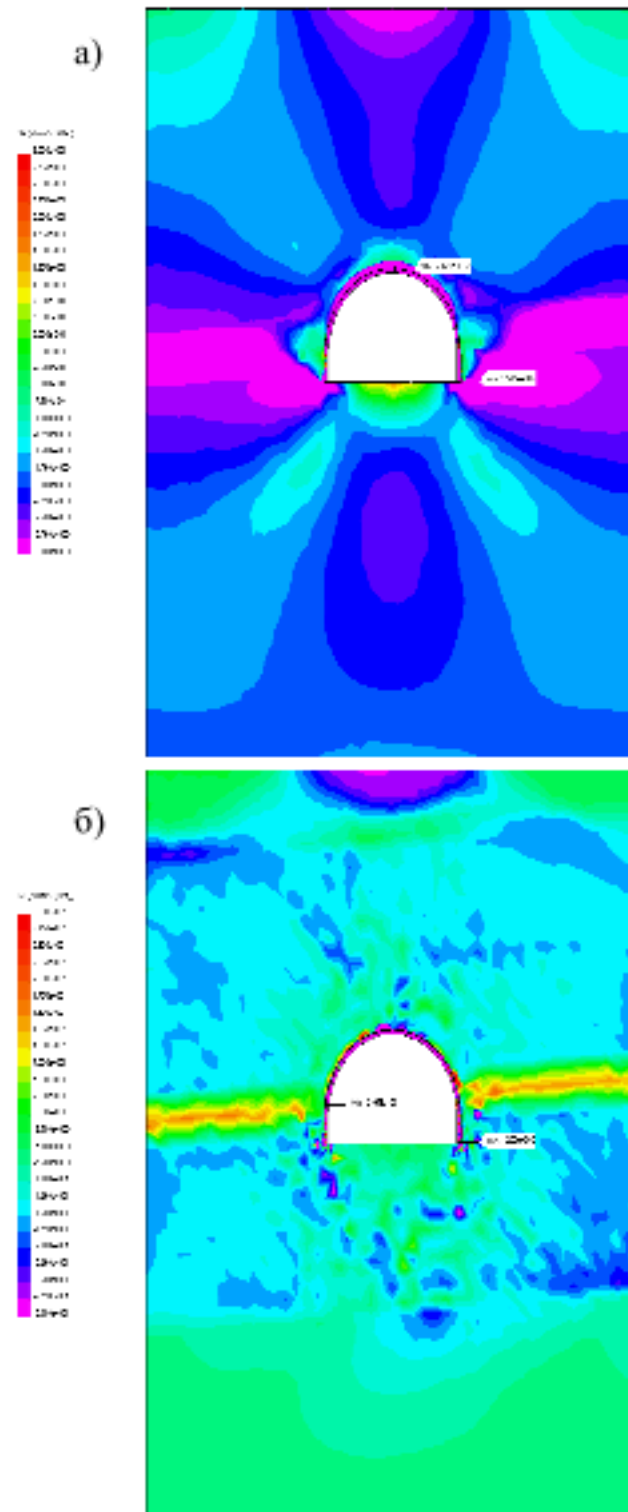


Рис. 3.14. Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при знижених характеристиках міцності і деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200\text{м}$; б – $H = 600\text{м}$

– в при контурних породах по всьому контуру вироблення, де діють знижені σ_x , з'являються окремі області $\sigma_x > \gamma H$, що вказує на активний процес розпушення породи;

- в більш віддалених ділянках прилеглих породних шарів величина $\sigma_x > \gamma H$, що характеризує їх практично повсюдний перехід не тільки в граничний, а й позамежний стан, різко інтенсифікує зрушення вуглевмісного масиву в порожнину виробки;

- в більш міцному (в порівнянні з породою) вугільному пласті на всю довколишню область по повстанню і падінню поширюються розтягуючі σ_x по потужності пласта з максимумом в його серединній частині, що досягає 12 ... 18 МПа; цей факт пояснюється істотним градієнтом переміщень породних шарів в порожнину виробки в граничному (позамежному) стані і вказує на те, що в вугільному пласті також порушується його цілісність, але вже від напружень, що розтягують.

Таким чином, при знижених міцності прилеглих породних шарів з ростом глибини розташування виїмкових виробок спостерігається різка зміна поля горизонтальних напружень не тільки в кількісному, але і в якісному плані.

Зрівнюючи епюри σ_x при підвищених деформаційних характеристиках ($E_i^{K,II} = 1 \cdot 10^4$ МПа) з попереднім варіантом (рис. 3.15), можна відзначити, що з ростом H вони стають все більш схожими одна на одну як в якісному, так і кількісному відносінах. Очевидно, це пояснюється тим, що в граничному і, особливо, в позамежному станах деформаційні властивості породних шарів багаторазово перевищують такі в до граничному стані і вплив $E_i^{K,II}$ стає несуттєвим.

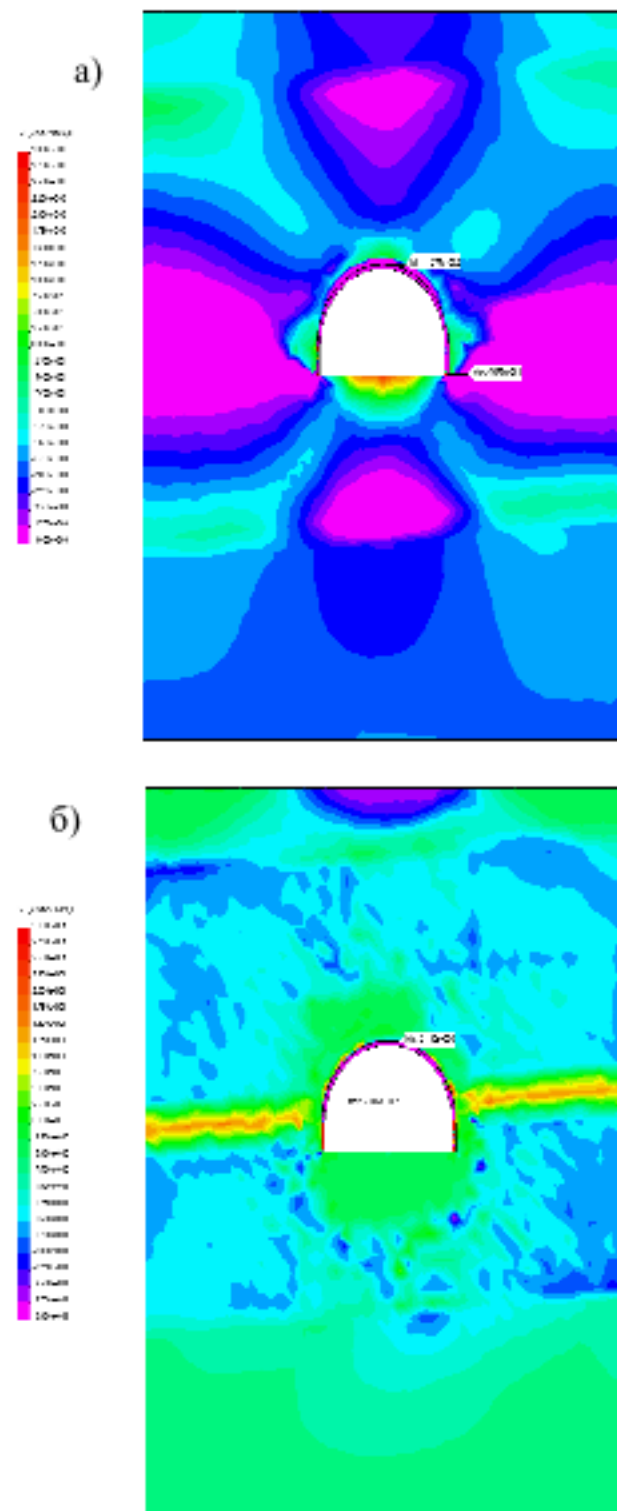


Рис. 3.15. Епюри розподілу горизонтальних напружень σ_x при знижених характеристиках міцності і підвищених деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200\text{м}$; б – $H = 600\text{м}$

Підвищені характеристики міцності ($\sigma_{схел}^{K,II} = 20$ МПа) всіх прилеглих породних шарів докорінно перетворюють тенденцію зміни поля компоненти σ_x при збільшенні глибини розташування виробки. Це обумовлено тим, що основний обсяг вуглевмісної товщі знаходиться ще в до граничному стані за винятком локальних областей в основному в при контурних породах. Як при знижених, так і при підвищених деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів спостерігається досить стабільна якісна картина поля напружень σ_x . У кількісному відношенні компонента σ_x монотонно зростає зі збільшенням H по залежності, близькою до лінійної. Це обумовлено лінійними співвідношеннями між напругою і деформаціями в до граничному стані елементарного породного обсягу.

Найбільш інформативний параметр - еюра наведених напружень σ має схоже з компонентом σ_x тенденції зв'язку з глибиною розташування виробки (рис. 3.16 рис.3.17).

Підсумовуючи результати виконаного аналізу еюр розподілу компонент напружень в міру збільшення глибини розташування виробки можна сказати, що визначальними параметрами стану масиву є міцності:

- породні шари зниженої міцності із зростанням H переходять в граничний (поза межний) стан практично незалежно від характеристик міцності сусідніх більш міцніших породних шарів;

- еюра σ в породних шарах з більш високими характеристиками міцності в малому ступені залежить від переходу сусіднього шару в граничний стан;

- розподіл σ в вугільному пласті, другому шарі підшви і третьому шарі покрівлі досить стабільно по відношенню до виду та стану будь-якого прилеглого породного шару.

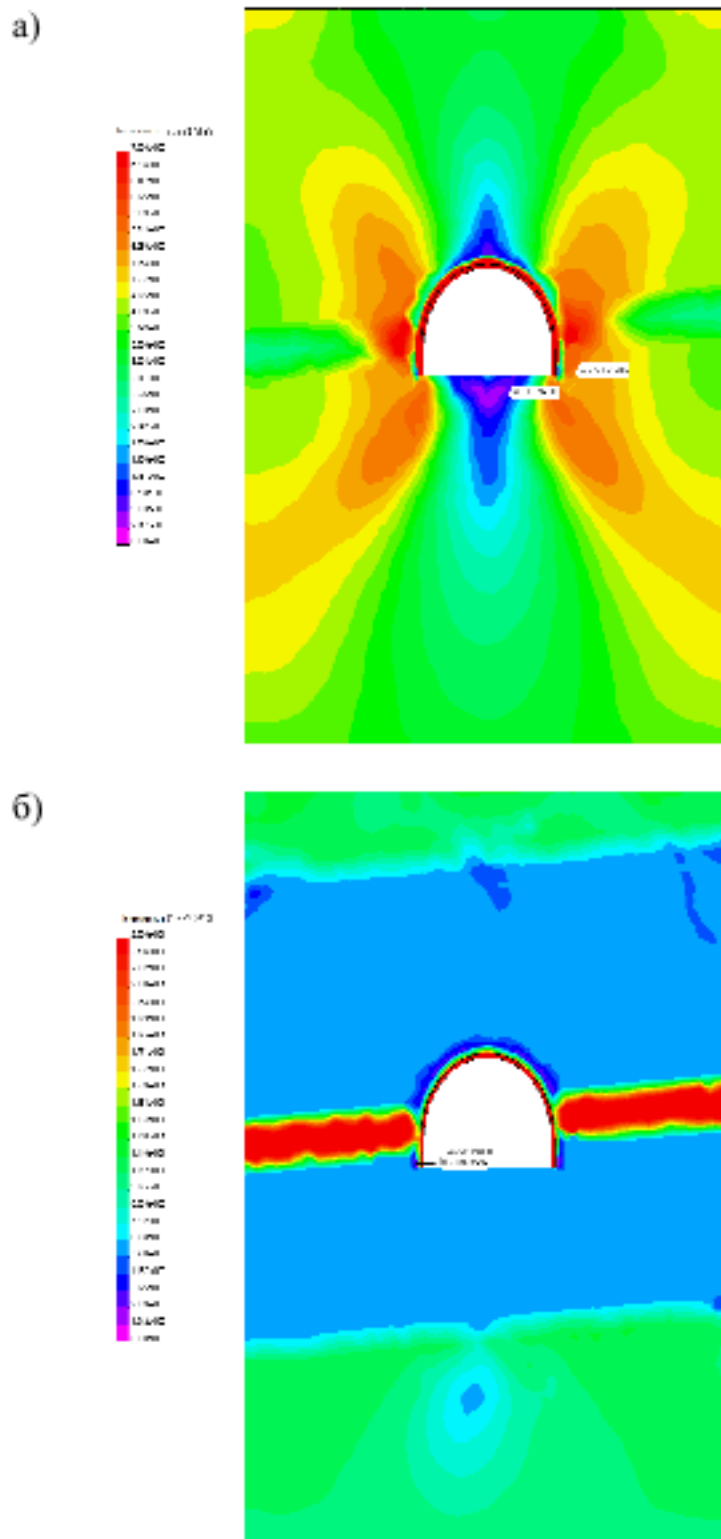


Рис. 3.16. Епюри розподілу приведених напружень σ при знижених характеристиках міцності і деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

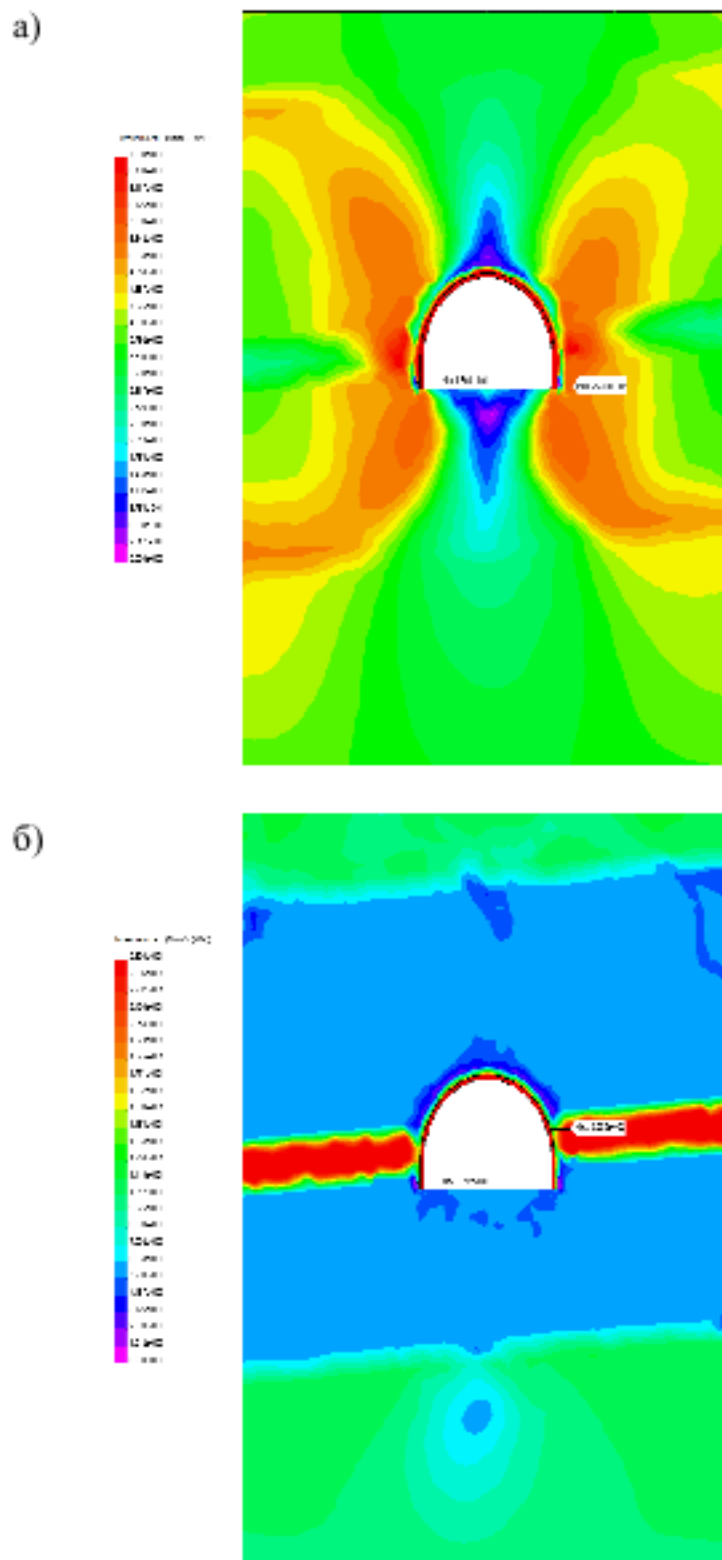


Рис. 3.17. Епюри розподілу приведених характеристик σ при знижених характеристиках міцності і підвищених деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

Поле переміщень порід які вміщують виробки істотно залежить від виду та стану навколишньої вуглевмісної товщі, яке (як було встановлено на попередньому етапі) визначається співвідношенням характеристик міцності що складають породні шари і глибини розташування виробки.

При знижених характеристиках міцності і деформаційних характеристиках прилеглих породних шарів поле переміщень змінюється як в якісному, так і кількісному плані, що пов'язано (при збільшенні H) з переходом в граничний і позамежний стан переважної частини вуглевмісного масиву:

- еюра переміщень набуває більш асиметричний вид щодо вертикальної осі виробки: зміщення ґрунту і боків штреку кілька переважають з боку повстання пласта;

- зміщення покрівлі і підшви настільки великі (до 2,8 м в покрівлі і 1,8 м в підшві), що порода практично заповнює всю порожнину виробки, що пояснюється процесом розпушення значного обсягу масиву в її околиці;

- зміщення порід під опорами стійок рами досягають 0,7 ... 1,2 м з кожного боку, що також призводить до повної втрати стійкості кріплення і виробки в цілому.

Перераховані фактори свідчать про неможливість експлуатації виробки в розглянутій гірничо-геологічній ситуації без застосування відповідних технічних заходів.

Результати проведених досліджень тенденцій зростання переміщень породного масиву в порожнину виробки зі збільшенням глибини її розміщення дозволили сформулювати ряд висновків:

- різні варіанти розподілу характеристик міцності і деформаційних характеристик прилеглих породних шарів обумовлюють різну ступінь їх впливу на зміщення породного контуру виробки з ростом глибини розробки. Визначальним фактором є вид стану прилеглих породних шарів при конкретну величину параметра H : дограничне, граничне, позамежне;

- при підвищених характеристиках міцності прилеглих породних шарів їх частково дограничний стан зумовлює близьку до лінійної зв'язок переміщень з параметром H , при якій коливання їх деформаційних властивостей в діапазоні $E_1^{K,II} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа змінюють величину переміщень до 70 ... 131%;

- при знижених характеристиках міцності породних шарів залежність переміщень контуру виробки від H стає нелінійною з настанням граничного стану хоча б одного з шарів, і в позамежному стані інтенсивність росту зсувів істотно збільшується, що виводить виробку з експлуатаційного стану.

В результаті виконаного аналізу встановлено, що граничний (позамежний) стан системи «шаруватий масив-кріплення виїмкових виробок» може настати в різних областях. Тому виконано обґрунтування повних діаграм деформування всіх складових елементів системи, включаючи стадію розпушення кожного з породних шарів і вугільного пласта.

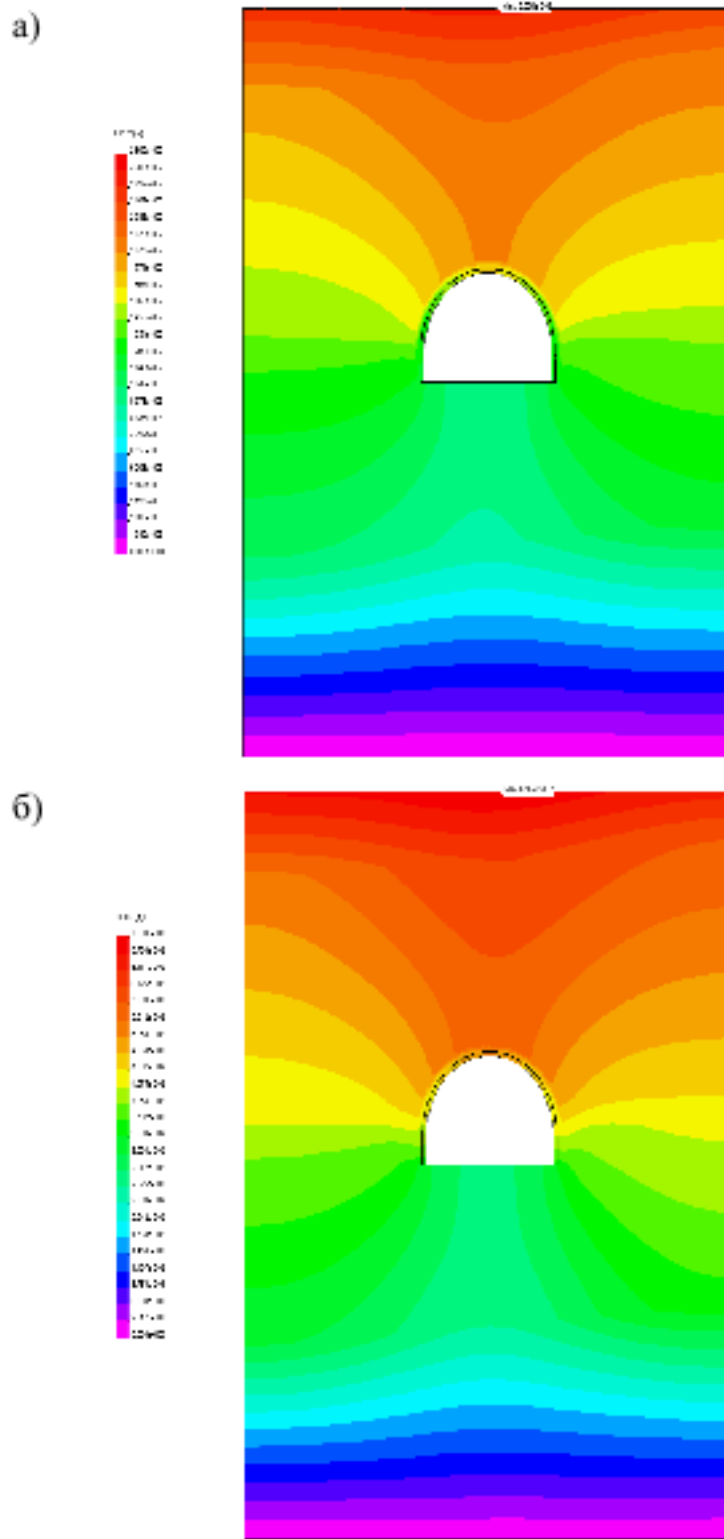


Рис. 3.18. Епюри переміщень в системі при підвищених характеристиках міцності і деформаційних характеристиках всіх прилеглих породних шарів: а – $H = 200$ м; б – $H = 600$ м

Різні поєднання розподілу характеристик міцності і деформаційних характеристик по кожному з довколишніх породних шарів обумовлюють різну ступінь їх впливу на зміну поля напружень і переміщень з ростом глибини розташування виробки. Визначальним фактором є вид стану прилеглих породних шарів при конкретній величині параметра H : дограничне, граничне, позамежне.

При підвищених характеристиках міцності прилеглих породних шарів їх частково дограничний стан зумовлює зв'язок напружень і переміщень з параметром H , близьку до лінійної; коливання деформаційних властивостей породних шарів в інтервалі $E_1^{KL} = (0,3...1) \cdot 10^4$ МПа змінюють напруги до 55%, а величину переміщень до 131%.

При знижених характеристиках міцності прилеглих породних шарів залежність НДС масиву від параметра H стає нелінійною з настанням граничного стану хоча б одного з шарів, а в позамежному стані інтенсивність росту переміщень істотно збільшується, а напруження зменшується. При цьому деформаційні характеристики шарів несуттєво впливають на поле напружень, а зміщення породного контуру виробки, особливо в її підшві, можуть змінюватися до 2,5 раз.

Виявлено достатня незалежність поля напружень породного шару від виду стану сусідніх шарів:

- шари зниженої міцності із зростанням H переходять в граничний (позамежний) стан практично незалежно від міцності сусідніх міцніших породних шарів;
- поле напружень в породних шарах з більш високими характеристиками міцності в малому ступені залежить від переходу сусіднього шару в граничний стан;
- поле напружень у вугільному пласті, другому шарі підшви і третьому шарі покрівлі досить стабільно по відношенню до виду стану будь-якого породного шару.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

1. Шкідливі виробничі фактори.

До шкідливих виробничих факторів на шахті «Степова» відносяться:

- 1) шкідливі і отруйні гази, що надходять в гірничу атмосферу з очисних і підготовчих забоїв при проведенні БВР і робіт з проведення виробок і видобутку вугілля (оксиди азоту N_2O , N_2O_3 , метан CH_4 і вуглекислий газ CO);
- 2) запиленість повітря, пил надходить в гірничу атмосферу з видобувних і підготовчих забоїв, а також при роботі транспортної (конвеєрної) лінії по доставці вугілля з очисних вибоїв. Пил, що надходить з прохідницьких вибоїв, силікоzoneбезпечна;
- 3) виробничий шум. Джерелами в шахті є працюючі машини і механізми;
- 4) кліматичні умови. Температура повітря на робочих місцях найбільш глибокого горизонту на момент проектування не перевищує $+ 25C^0$. Тому заходи з кондиціонування повітря в даному проекті не передбачені.

2. Небезпечні виробничі фактори.

1. Шахта «Степова» відноситься до над категорійної категорії за газом. Найбільш ймовірні скупчення газу метану в тупикових виробках, що знаходяться в безпосередній близькості від проведення очисних робіт.
2. Обвалення гірських порід. Гірські породи середньої стійкості до обвалення. На шахті прийнятий наступний спосіб управління покрівлею - повне обвалення. Крок обвалення становить 0,8 м. До потенційно небезпечних місць за можливістю обвалення порід основної покрівлі відносяться очисні вибої, підготовчі вибої, бортові і збірні штреки в місцях погашення.
3. Гірські і транспортні машини.
4. Буро-вибухові роботи.

4.2 Вибір заходів щодо боротьби з пилом у підготовчих забоях

Питоме пиловиділення при роботі комбайна q (г/т) без засобів пилоподавлення.

$$q_v = q_{\text{пл}} \cdot V \cdot K_k, \text{ г/т};$$

де $q_{\text{пл}}$ – питоме пиловиділення шахтопласта, г/т;

V – швидкість руху повітря, м/с;

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

$$q_v = 30 \cdot 0,5 \cdot 0,33 = 5 \text{ г/т};$$

Заходи: зрошення; гідрозрошення; застосування водоповітряних ежекторів.

Залишкову запиленість повітря в підготовчій виробці при роботі прохідницького комбайна з відкритим виконавчим органом при відстані між вентиляційним трубопроводом і забоем, рівним 8 м, розраховуємо за формулою:

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

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

Q_n – кількість повітря необхідне для провітрювання підготовчої виробки, $\text{м}^3 / \text{хв}$. З розділу «Вентиляція» маємо $Q_n = 3,8 \text{ м}^3/\text{с}$

$$C_n = \frac{1000 \cdot 5 \cdot 1,9 \cdot 1 \cdot 0,1}{2,5} = 250 \text{ мг/м}^3;$$

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

- вага 200г;
- термін захисної дії 22 години, при запиленості повітря 300 мг/м^3 ;
- ефективність пилозатримки 99,99%.

Пилопригнічення при роботі прохідницьких комбайнів.

При роботі прохідницьких комбайнів вибіркової дії для боротьби з пилом рекомендується комплекс знепилюючих заходів, що включають зрошення з подачею рідини на різучий інструмент, а також очищення, що виходить із виробки вентиляційного струменя за допомогою водяних завіс.

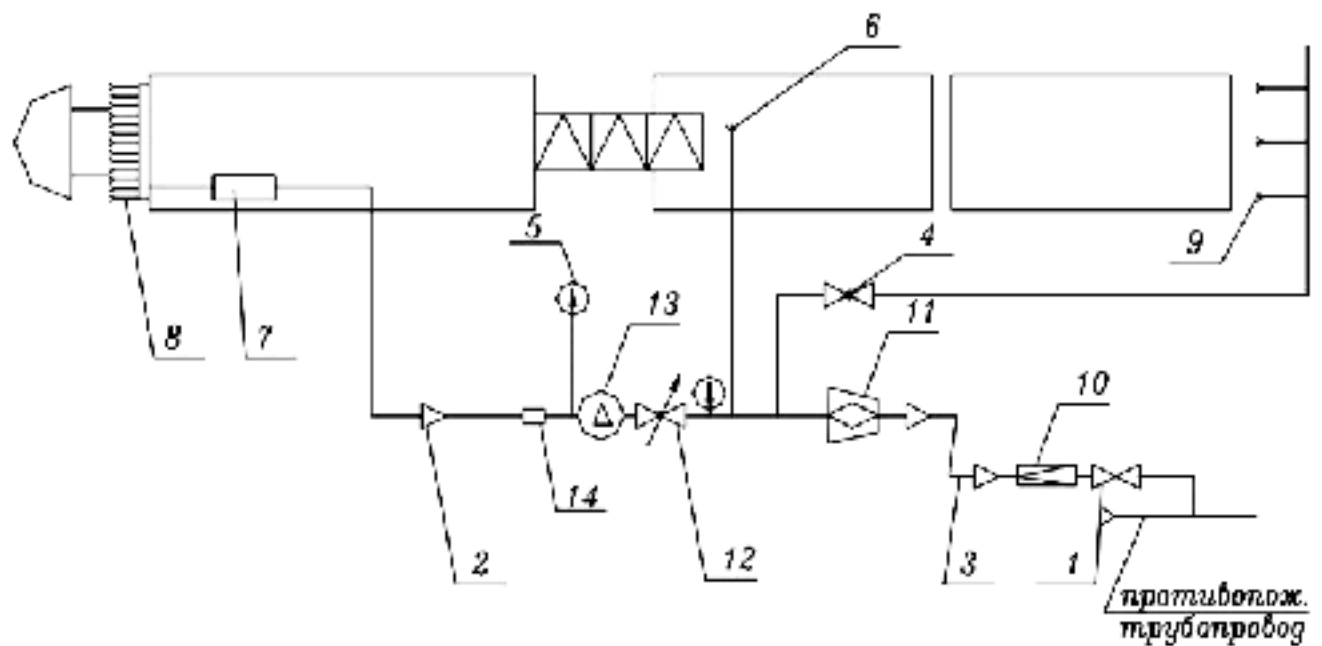


Рис. 4.1 Схема пилопригнічення при роботі комбайна

Таблиця 3.2

Умовні позначки

№ п/п	Найменування	Од. Вим.	Кіль- кість
1	Вентиль фланцевий 1А-25-40	шт.	2
2	Перехідник 32/50	шт.	3
3	Рукав напірний для рідини	м	100
4	Кран прохідний муф-й 32/50	шт.	1
5	Манометр	шт.	1
6	Форсунка	шт.	2
7	Засоби автомат. та блокування.	комп	1
8	Форсунки зовнішнього зрошення	шт.	6
9	Водяна завіса	шт.	1
10	Клапан редукційний штр.	шт.	1
11	Фільтр штрековий	шт.	1
12	Вентиль електромагнітний	шт.	1
13	Насосна установка	шт.	1
14	Дозатор змочування	шт.	1

4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

Основними шкідливими впливами ведення гірничих робіт на навколишнє середовище є: порушення земної поверхні внаслідок її просідання після відпрацювання лав, складування породи у відвали, скидання шахтних вод. Ведення підземних гірничих робіт має значний негативний вплив на стан родючих земель. Вони не можуть використовуватися для сільськогосподарських потреб. Тому основним завданням, що стоїть перед керівництвом підприємства є рекультивація порушених земель.

У відповідність з "Основами земельного законодавства" рекультивації підлягають землі, що відводяться під гірничі роботи. На цих ділянках передбачається зняття і складування ґрунтово-рослинного шару. Після закінчення робіт ділянки повинні бути вирівняні, а ґрунтовий матеріал повернуто на місце. У разі порушення умов землекористувача організація

відшкодовує останньому збиток, розмір якого визначається спеціальною комісією.

Основним напрямком з раціонального використання надр є найбільш повне вилучення корисних копалин і мінеральних ресурсів. Необхідно звести до мінімуму втрати корисної копалини внаслідок застосування тієї чи іншої системи розробки або способу підготовки шахтного поля, а також зменшення запасів вугілля, що залишаються в якості охоронних ціликів при розробці родовищ.

Другим напрямком з раціонального використання надр можна вважати створення екологічно безпечних, безвідходних та маловідходних технологій розробки пластових родовищ вугілля та інших корисних копалин, а також створення нових, пов'язаних з вирішенням проблеми раціонального використання природних ресурсів і охорони навколишнього середовища.

Джерелами господарсько-питного водопостачання є Павлоградський водозабір. Джерелом виробничо-протипожежного водопостачання гірничих виробок є шахтна вода, знезаражена хлором і освітлена на фільтрах установки з очищення шахтних вод. Після очищення кількість зважених речовин в шахтній воді становить до 50 мг/л. Вміст зважених речовин в шахтній воді після очищення її в ставку-відстійнику коливається в межах 15-25 мг/л, що відповідає санітарним нормам по скиданню води у водойму.

Склад повітря, що надходить в підземні гірничі виробки неоднорідний внаслідок багатьох факторів: виділення шкідливих та отруйних газів з пласта, що розробляється, виробленого простору, дії окислювально-відновних процесів протікають в шахті, гниття органічних споруд і так далі.

Застосування деяких заходів, в даний час, дозволяє контролювати в шахтному повітрі вміст домішок, що не перевищують ГДК. Для запобігання окислювальних процесів в підземних умовах застосовуються сполуки з неорганічних матеріалів. Для боротьби з пилоутворенням знаходять застосування пиловідсмоктуючі та пиловловлюючі установки, а також системи зрошення і пилоподавлення.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі вирішена практична задача по вибору оптимальних параметрів експлуатації рамного кріплення виїмкових виробок за рахунок визначення структури навантаження, яке виникає під впливом деформацій породного контуру в умовах граничного і позамежного стану гірського масиву.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Встановлено роздільні закономірності впливу характеристик міцності і деформаційних характеристик кожного з довоколишніх породних шарів на зміну поля напружень і переміщень з ростом глибини H розташування виїмкових виробок. Визначальним фактором є вид стану і розміри області граничного стану в прилеглих породних шарах і вугільного пласта для конкретної глибини розробки. Доведено, що для підвищення достовірності прогнозу проявів гірського тиску необхідно враховувати комплекс механічних характеристик як дограничного, так і позамежного стану масиву.

2. Виявлено, що відносна незалежність деформування породних шарів при їх прослизанні відносно один одного в околиці виробки породжує високий ступінь незалежності поля напружень окремого породного шару від виду стану сусідніх шарів, що інтенсифікує розвиток переміщень контуру виробки.

3. Аналіз закономірностей розвитку переміщень контуру і НДС кріплення виробки дозволив виявити область гірничо-геологічних умов, коли можливе збереження експлуатаційного стану виробки за допомогою ресурсозберігаючих технологій посилення рами системою анкерів: при $H \leq 400\text{ м}$ $\sigma_{\text{СТ}}^{\text{К.П.}} = 10 \dots 15\text{ МПа}$; при $400\text{ м} < H \leq 600\text{ м}$ $\sigma_{\text{СТ}}^{\text{К.П.}} > 15\text{ МПа}$. Така можливість у зазначених умовах обумовлена відносно помірними переміщеннями контуру рами і обмеженими областями граничного і позамежного стану масиву.

Практичне значення роботи полягає у можливості:

1. Підвищення стійкості виробки на 15 - 25% за рахунок вибору типу і характеристик кріплення, відповідних прогнозованим переміщенням її контуру.

2. Підвищення несучої здатності рамного кріплення до 30 - 40% установкою анкерів в місцях прогнозованого утворення пластичних шарнірів.
3. Збільшення повторно використовуваних елементів рамного кріплення до 30% і зменшення трудовитрат на їх ремонт до 15%.

Кваліфікаційна робота виконана відповідно до програми й методичних рекомендацій кафедри гірничої інженерії та освіти [18].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення.
2. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
3. Правила безпеки у вугільних шахтах / НПАОП 10.0-1.01 - 10.- К., 2010. - 430 с.
4. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. Том 1. - К., 2003. - 478 с.
5. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. Том 2.- К., 2003. - 409 с.
6. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт / Ін-т геотехнічної механіки НАН України. - Дніпропетровськ, 2002. - 372 с.
7. 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.
8. Тищенко Н.В., Нехрещенюк А.Ф. Сучасний стан та перспективні напрямки розвитку вугільних шахт Західного Донбасу // Зб. науч. пр. Школа підземної розробки. - Дніпропетровськ-Ялта: НГУ, 2007. - С.69-76.
9. Васильєв В.Є. Аналіз умов розробки пластів Західного Донбасу // Науковий вісник НГУ. - 2004. - №9. - С.6-11.
10. 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
11. 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» / Дніпропетровськ: Системні технології, 2007. - Ч.

П. - 198 с.

12. 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, 2004. – 708 с.

13. 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.

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

15. 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.

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

17. 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.

18. 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.