

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД

**Методичні рекомендації
для виконання практичних робіт з дисципліни
студентами спеціальності 184 Гірництво**

Дніпро
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
Кафедра гірничої інженерії та освіти

МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД

Методичні рекомендації
для виконання практичних робіт з дисципліни
студентами спеціальності 184 Гірництво

Дніпро
НТУ «ДП»
2020

Механіка гірських порід. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт з дисципліни студентами спеціальності 184 Гірництво / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська, Г.А. Симанович, Д.С. Малашкевич, К.М. Прокопенко ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 47 с.

Автори:

В.І. Бондаренко, д-р техн. наук, проф. ;
І.А. Ковалевська, д-р техн. наук, проф. ;
Г.А. Симанович, д-р техн. наук, проф. ;
Д.С. Малашкевич, канд. техн. наук, доц. ;
К.М. Прокопенко, асп.

Затверджено методичною комісією зі спеціальності 184 Гірництво (протокол № 4 від 02.10.2020) за поданням кафедри гірничої інженерії та освіти (протокол № 13/2 від 17.09.2020).

Подано методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи студентів з дисципліни «Механіка гірських порід» спеціальності 184 Гірництво.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри гірничої інженерії та освіти
В.І. Бондаренко, д-р техн. наук, проф.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД»	5
1.1. Загальні положення	5
1.2.Обсяг дисципліни	5
1.3.Компетенції, що набуваються, та зміст дисципліни	5
2. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ	6
Практичне заняття № 1	6
Практичне заняття № 2	12
Практичне заняття № 3	16
Практичне заняття № 4	25
Практичне заняття № 5	35
Практичне заняття № 6	39
3. ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	45
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	46

Вступ

Матеріали методичного забезпечення для практичних занять з дисципліни «Механіка гірських порід» призначені для навчальної роботи студентів на практичних заняттях.

У них викладені теоретичні питання і методика вирішення ряду завдань. По кожному з шести практичних занять сформульована тема і мета заняття, вказаний час виконання, а також наведено приклади, необхідні для їх виконання.

За виконання кожного практичного заняття студенту виставляється оцінка в ході особистої співбесіди з викладачем.

Програма навчальної дисципліни розробляється за весь період реалізації освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності 184 Гірництво і затверджується наказом ректора.

1. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД»

1.1. Загальні положення.

Практичне заняття – форма навчального заняття, при якій викладач організує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни.

Студент під час проведення практичних занять повинен:

- Ознайомитись з методичними рекомендаціями щодо проведення практичних занять;
- Обов'язково відвідувати практичні заняття;
- Безумовно дотримуватись правил охорони праці;
- Вести робочий зошит з практичних занять;
- Одержати оцінку за практичний модуль через визначену форму модульного контролю (за результатами поточного контролю виконання вправ або контрольних модульних робіт та індивідуальних завдань).

1.2. Обсяг дисципліни.

Загальний обсяг – 4 кредити ECTS

Денна форма навчання:

Лекції – 34 академічні години.

Практичні заняття – 24 години.

Самостійна робота – 62 години.

Заочна форма навчання:

Лекції – 8 академічні годин.

Практичні заняття – 4 години.

Самостійна робота – 108 годин.

1.3. Компетенції, що набуваються, та зміст дисципліни.

Модулі	Компетенції	Змістові модулі
1	Знати методи розрахунку напружено-деформованого стану. Знати методи управління проявами гірського тиску. Знати основні теорії напружень і деформації гірського масиву.	Лекції
		1. Класифікація та будова гірських порід та масивів
		2. Механічні властивості гірських порід
		3. Основи теорії напружень і деформації гірського масиву
		4. Методи розрахунку напружено-деформованого стану в прикладах рішення геомеханічних задач
		5. Основні теорії гірського тиску і методи розрахунку його параметрів
		6. Методи управління проявами гірського тиску в прикладних задачах геомеханіки
7. Загальні закономірності зсуву гірського масиву та охорона об'єктів на земній поверхні		

2	Вміти будувати паспорт міцності гірських порід. Вміти розраховувати напружений стан гірського масиву. Вміти розраховувати реакцію механізованого кріплення і крок руйнування основної покрівлі.	Практичні заняття
		1. Вивчення характеристик міцності гірських порід
		2. Визначення висоти склепіння природної рівноваги
		3. Побудова паспорта міцності гірських порід
		4. Вивчення характеру зрушення земної поверхні і масиву гірських порід при очисному вийманні
		5. Розрахунок напруженого стану масиву гірських порід
		6. Розрахунок реакцій механізованого кріплення і кроку руйнування основної покрівлі

2. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичне заняття № 1

Тема: Вивчення характеристик міцності гірських порід

Час виконання – 2 академічні години.

Мета роботи - вивчення експериментальних методик визначення показників міцності гірських порід.

Теоретичні відомості

Міцність – це здатність матеріалів (гірських порід) чинити опір руйнуванню під дією навантажень. Максимальні значення напружень, при яких відбувається руйнування матеріалів, називається межею міцності.

К характеристикам міцності гірських порід відносяться: межа міцності на одновісне стиснення R_{cm} , розтягнення R_p , зрушення (зріз) R_z , зчеплення C і кут внутрішнього тертя ω (омега).

Характеристики міцності гірських порід використовують для визначення оптимальних способів та параметрів кріплення гірничих виробок, охоронних конструкцій (кострів, бутових та литих бетонних смуг), закладки виробленого простору, вибору раціональних методів та механізмів руйнування, оцінки стану гірського масиву та т. ін. Показники міцності більшості матеріалів і гірських порід є константами, які наводяться в довідниках.

Межі міцності на одновісне стиснення R_{cm} для деяких типів гірських порід Західного Донбасу наведені в табл.1.1.

Таблиця 1.1. – Межі міцності гірничих порід Західного Донбасу

Тип гірської породи	R_{cm} , МПа
Пісковик	> 40
Вугільний пласт	32-40
Алевроліт	27-32
Аргіліт	< 27

Межа міцності на одновісне стиснення R_{cm} – стискаюче напруження, при якому зразок матеріалу руйнується. Межа міцності обчислюється за формулою:

$$R_{cm} = \frac{P}{S \cdot k}, \text{ Н/м}^2$$

де P – руйнуюче навантаження, H ; S – площа поперечного перерізу зразка, м^2 ; k – коефіцієнт форми.

Міцність на одновісне стиснення є найбільш загальною та часто використовуваною характеристикою міцнісних властивостей матеріалів та гірських порід. Існує безліч методів випробування зразків на одновісне стиснення, методик і нормативних вказівок для визначення цього показника.

Проведення випробувань на одновісне стиснення виконується на зразках циліндричної (кern) або призматичної форми. Діаметр зразків повинен бути в межах 40-50 мм з відношенням висоти до діаметру, рівним 0,9-1,1. Торцеві поверхні зразків шліфують, їх випуклість (увігнутість) після шліфування не повинна бути більше 0,05мм. Торцеві поверхні повинні бути паралельними один до одного (відхилення не більш ніж 0,1 мм) та перпендикулярні до утворюючого циліндра (відхилення 1,0 мм).

Випробування проводять на пресі. Для строго центрованого навантаження зразка між ним та одною із плит преса встановлюють шароподібний центрований прилад. Навантаження зразка виконують з постійною швидкістю в межах 1-30 $\text{кгс/см}^2 \cdot \text{с}$, збільшуючи навантаження аж до самого руйнування зразка та фіксуючи значення руйнуючого навантаження.

Головним завданням при випробуванні зразка на одновісне стискання є забезпечення рівномірності прикладання зовнішнього навантаження на площу зразка від початку проведення випробувань до кінця. В процесі випробувань зразок породи встановлюють боковою поверхнею в центрі опорної плити преса та навантажують до початка руйнування. Основні схеми випробування зразка на одновісне стиснення зображено на рис.1.1.

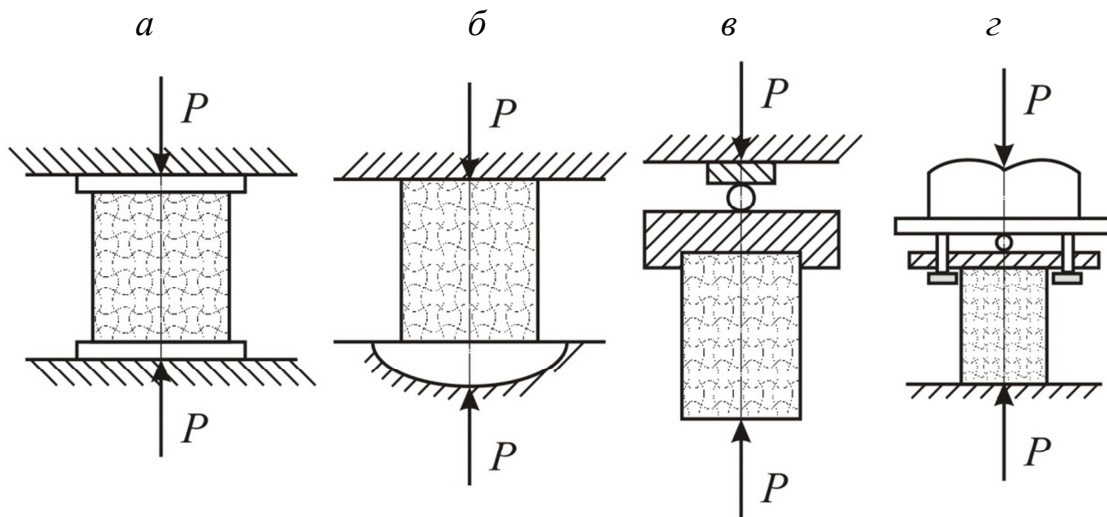


Рисунок 1.1 – Основні схеми випробування зразків на одновісне стиснення

За першою схемою (рис.1.1, а) торці зразків в процесі навантаження залишаються паралельними. Умови навантаження і деформування при цьому близькі до натурних умов деформування і руйнування гірських порід, наприклад, в ціликах. Результати такого роду випробувань найбільш представницькі.

Істотним недоліком цієї схеми є велика трудомісткість робіт, яка пов'язана з виготовленням зразків зі строго паралельними торцями, а навіть незначне відхилення від паралельності призводить до концентрації напружень на одному з торців і нерівномірному протіканню процесу руйнування.

Друга схема (рис.1.1, б) досить широко використовується при випробуваннях різних матеріалів, в тому числі і гірських порід. В даній схемі прес має сферичний шарнір і в порівнянні зі зразком діаметра. Шарнір розташовано на нижній або верхній плиті преса. Головне призначення шарніра – забезпечити щільне прилягання плит преса до непаралельних торців зразка.

Основним недоліком цієї схеми є деякий ексцентриситет прикладання навантаження, що позначається на точності результатів випробувань.

При третій схемі навантаження (рис. 1.1, в) ексцентриситет зменшується до мізерно малої величини незалежно від ступеня не паралельності торців. Однак наявність легко рухомого шарніра знижує поздовжню стійкість високих зразків, що знижує достовірність результатів. В цілому ж ця схема навантаження, що дозволяє значно знизити вимоги до обробки зразків, забезпечує досить представницькі результати.

За четвертою схемою (рис. 1.1, з) опорні плити, крім сферичного шарніра, забезпечені трьома упорними гвинтами. Після того як накладено 5 – 15% руйнівного навантаження, гвинти піднімаються і виводять шарнір з роботи. Надалі відбувається плоскопаралельний рух плити преса. Результати випробувань цього способу мають високу наочність, особливо при випробуваннях порід, які сильно піддаються деформуванню.

Межа міцності на одноосьовий розрив R_p – це напруження рівне відношенню максимального навантаження при розтягуванні, яке передбачає руйнування до початкової площі поперечного зрізу зразка.

Для визначення міцності порід на одноосьовий розтяг використовують прямі і непрямі методи.

Прямий метод випробувань проводиться на зразках циліндричної (рис. 1.2, *а*) і гантелеподібної (рис. 1.2, *б*) форм. Кінці циліндричних зразків вставляються в спеціальні захвати розривної машини. Розривні зусилля передаються через троси для центрування зразка.

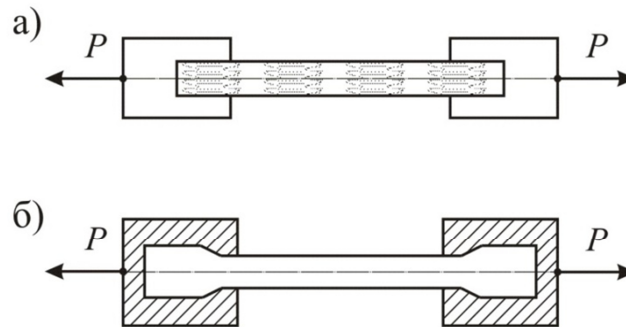


Рисунок 1.2 – Схеми дослідження зразків на одноосьовий розтяг: *а* - зразок циліндричної форми; *б* - зразок гантелеподібної форми

До непрямих методів визначення межі міцності на одноосьовий розтяг відносяться:

- метод розколювання стискаючим навантаженням;
- метод розриву зсередини,
- метод вигину,
- метод продавлювання зразків у формі породних дисків.

На підставі проведених досліджень отримана залежність, яка відображає межу міцності на одноосьовий розтяг і має такий вигляд:

$$R_p = \frac{2P}{\pi dl}, \text{ МПа}$$

де P – зовнішнє навантаження, Н; d і l – відповідно діаметр і довжина зразка, м.

Дану залежність можна використовувати при циліндричній формі зразка, а її результати є достовірними при строго лінійному розподілі навантаження для пружних матеріалів.

Межа міцності на зрушення R_τ – найбільше дотичне напруження, відповідне початку руйнування матеріалу.

Величина R_τ визначається з досліджень на продавлювання породних дисків, які досить легко отримати при розпилюванні кернів, які виготовляються для дослідження межі міцності на одновісне стиснення. Дані дослідження проводять на пресі в спеціальному пристрої за схемою, наведеною на рис. 1.3.

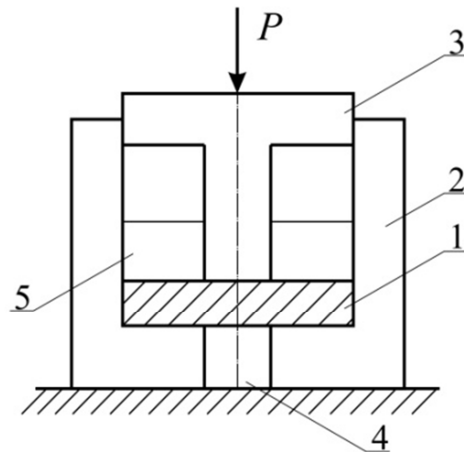


Рисунок 1.3 – Схема випробувань породних дисків на зрушення:
 1 - породний зразок; 2 - матриця; 3 - пуансон; 4 - отвір; 5 - фіксуєчий диск

У загальному вигляді зв'язок між межею міцності на одноосьовий стиск, розтяг і зсув можна описати наступною залежністю:

$$R_{\tau} = 0,5\sqrt{R_{сж} R_p} \quad , \text{ МПа}$$

де $R_{сж}$, R_p – відповідно межа міцності на одноосьове стиснення і розтяг, МПа

Послідовність виконання роботи

1. Встановити тип гірської породи виходячи з міцності.
2. Визначити діаметр і довжину зразка гірської породи.
2. Визначити межу міцності гірської породи на зсув.
4. Висновки

Довідковий матеріал для виконання завдання

1.1 Межа міцності досліджуваного зразка на одновісне стиснення визначається за формулою:

$$R_{сж} = \frac{P}{S \cdot k} \quad , \text{ МПа} \quad (1.1)$$

де P – зовнішнє навантаження, Н; S – площа поперечного перерізу зразка, м^2 , k – коефіцієнт форми.

1.2 Площа поперечного перерізу зразка визначають за формулою:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad , \text{ м}^2 \quad (1.2)$$

1.3 Межа міцності досліджуваного зразка на одноосьовий розтяг визначається за формулою:

$$R_p = \frac{2P}{\pi dl}, \text{ МПа} \quad (1.3)$$

де P – зовнішнє навантаження, Н; d і l – відповідно діаметр і довжина зразка, м.

1.4 Залежність взаємозв'язку між межею міцності зразка на одновісне стиснення, одновісне розтягнення і межею міцності на зсув, яке описується наступним рівнянням:

$$R_\tau = 0,5\sqrt{R_{см}R_p}, \text{ МПа} \quad (1.4)$$

де $R_{см}$, R_p – відповідно межа міцності на одноосьовий стиск і розтяг, МПа

Таблиця 1.2 - Вихідні дані для вирішення практичної роботи №1

№ п/п	$R_{см}$, МПа	R_p , МПа	$P \cdot 10^3$, кгс	k
1	2	3	4	5
1	13,9	1,4	182	1,56
2	18	2,2	179	1,47
3	13,5	1,2	255	1,39
4	17,9	1,9	143	1,25
5	35,1	3,6	224	1,16
6	21,2	2,1	653	1,06
7	20,4	2,0	366	1,0
8	20,8	2,1	190	0,98
9	25,3	2,6	275	1,56
10	25,7	2,7	225	1,47
11	39,6	4,1	300	1,39
12	45,7	4,6	197	1,25
13	56,2	5,7	165	1,16
14	72,3	7,3	308	1,06
15	13,6	1,5	261	1,0
16	11,9	1,3	213	0,98
17	18,1	1,9	154	1,56
18	17,3	1,7	178	1,47
19	15,1	1,7	320	1,39
20	22,9	2,3	267	1,25
21	34,9	3,5	198	1,16
22	25,5	2,7	218	1,56
23	46,4	4,5	105	1,47
24	14,9	1,8	210	1,39
25	39,5	4,1	191	1,25

Контрольні запитання

1. Що називається межею міцності гірських порід?
2. Назвіть характеристики міцності гірських порід?
3. Опишіть експериментальні методи визначення межі міцності на одноосьовий стиск і розтяг?
4. Що називається межею міцності на зрушення?
5. У чому полягає сутність прямого методу визначення межі міцності на зсув?

Практичне заняття № 2

Тема: визначення висоти склепіння природної рівноваги

Час виконання – 2 академічні години.

Мета роботи – визначення висоти склепіння природної рівноваги використовуючи положення теорії утворення зводу за професором М.М. Протод'яконовим і професором П.М. Цимбаревичем.

Теоретичні відомості

До моменту проведення гірничої виробки в непорушеному гірському масиві відсутні будь-які переміщення. При проведенні гірничої виробки раніше існуюча в незайманому масиві рівновага порушується. У породах, які оточують виробку, відбувається перерозподіл і зміна напружень. М.М. Протод'яконов експериментальним шляхом встановив, що над виробкою утворюється склепіння природної рівноваги і теоретично довів, що склепіння окреслюється параболою. На кріплення гірничої виробки діє тільки тиск ваги верхніх порід, які укладені в це склепіння.

Для визначення навантаження на кріплення гірничої виробки зазвичай використовують закономірності, отримані в теорії утворення склепіння природної рівноваги М.М. Протод'яконова і П.М. Цимбаревича.

За М.М. Протод'яконовим над виробкою утворюється склепіння природної рівноваги висотою b_1 (рис. 2.1). Порода в межах склепіння повністю зруйновані, не мають зчеплення, але мають внутрішнє тертя. Зведення кріплення в гірничій виробці не перешкоджає утворенню склепіння природної рівноваги.

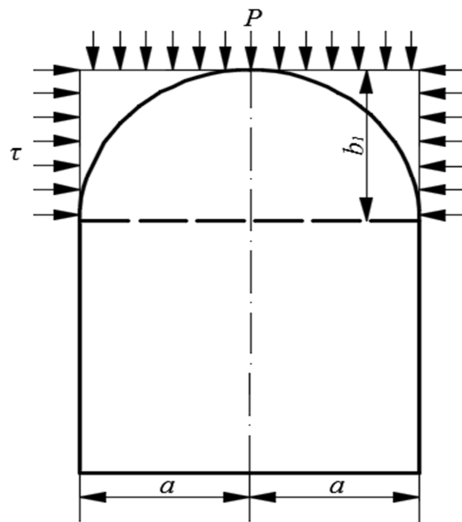


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для визначення висоти склепіння природної рівноваги за теорією М.М. Протод'яконова

Висоту зводу природної рівноваги можна визначити за формулою:

$$b_1 = \frac{a}{f}, \text{ м}$$

де b_1 – висота склепіння природної рівноваги, м; a – половина прольоту виробки; f – коефіцієнт міцності породи.

Вага порід, яка тисне на кріплення на довжині 1 м виробки, визначається із умов:

$$Q = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f}, \text{ кН}$$

де γ – об'ємна вага порід, т / м³

Тиск на одну раму при кроці встановлення кріплення l визначається з умови:

$$Q_{p1} = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f} l, \text{ кН}$$

де l – крок встановлення кріплення, м.

Відповідно до теорії П.М. Цимбаревича в покрівлі виробки утворюється склепіння природної рівноваги, яке виходить за межі виробки на величину $2c$ (рис. 2.2). При цьому проліт нового склепіння складе $2a + 2c$. Породи під опорами склепіння руйнуються, в боках виробки утворюються призми сповзання, що створюють бічний тиск на стійки кріплення. Висота призм сповзання дорівнює висоті виробки h , а кут нахилу площин сповзання β визначається з умови:

$$\beta = \frac{90^\circ + \rho}{2}, \text{ град}$$

де ρ – кут внутрішнього тертя порід.

Висоту склепіння природної рівноваги можна знайти з виразу:

$$b_2 = \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \rho}{2}}{\operatorname{tg} \rho}, \text{ м}$$

де h – висота виробки, м

Тиск на одну раму визначається з умови:

$$Q_{p_2} = 2ab_2\gamma$$

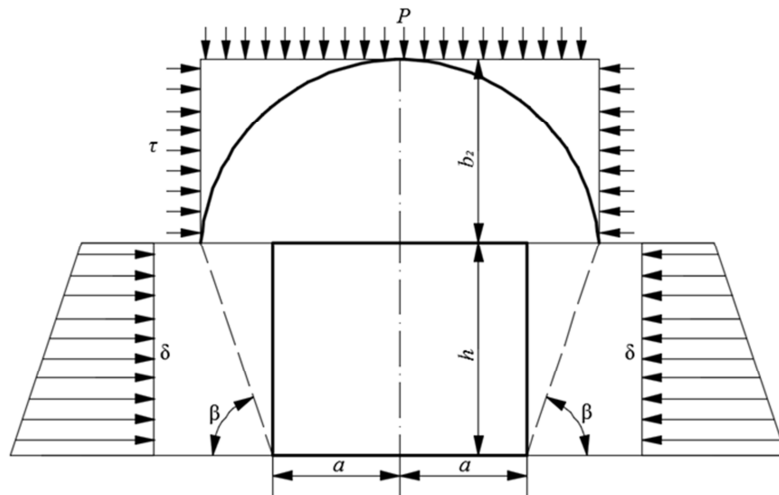


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема до визначення висоти склепіння природної рівноваги з теорії П.М. Цимбаревича

Ці положення лягли в основу розвитку досліджень взаємодії порід і кріплення гірничих виробок, формування напруженого стану масиву гірських порід і їх зміни в зв'язку з проведенням виробок.

Послідовність виконання завдання

1. Визначити висоту склепіння природної рівноваги за формулою проф. М.М. Протод'яконова.
2. Визначити вагу порід, яка тисне на кріплення на довжині 1 м виробки.
3. Визначити тиск на одну раму.
4. Визначити висоту склепіння природної рівноваги за формулою проф. П.М. Цимбаревича.
5. Визначити тиск на одну раму з теорії П.М. Цимбаревича.
6. Висновки.

Довідковий матеріал для виконання завдання

2.1 Висота склепіння природної рівноваги по М.М. Протод'яконову визначається з виразу:

$$b_1 = \frac{a}{f}, \text{ м} \quad (2.1)$$

де b_1 – висота склепіння природної рівноваги, м; a – половина прольоту виробки; f – коефіцієнт міцності породи.

2.2 Вага порід, яка тисне на кріплення на довжині 1 м виробки, визначається з умови

$$Q = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f}, \text{ кН} \quad (2.2)$$

де γ – об'ємна вага порід, т / м³.

2.3 Тиск на одну раму при кроці встановлення кріплення l визначається з умови

$$Q_{p1} = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f} l, \text{ кН} \quad (2.3)$$

2.4 Висота склепіння природної рівноваги по П.М. Цимбаревичу визначається з виразу

$$b_2 = \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \rho}{2}}{\operatorname{tg} \rho}, \text{ м} \quad (2.4)$$

2.5 Тиск на одну раму визначається з умови

$$Q_{p2} = 2ab_2 \gamma, \text{ кН} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для вирішення практичної роботи №2

№ п/п	f	a , м	γ , т/м ³	h , м	l , м	ρ , град
1	2	3	4	5	6	7
1	4	3,00	2,45	6,0	1,0	40
2	5	3,10	2,33	4,0	0,8	45
3	7	1,80	2,31	3,0	0,5	43
4	5	1,34	2,22	2,5	1,0	56
5	4	1,43	2,18	2,5	0,8	69
6	5	1,60	2,56	3,0	0,5	70
7	6	1,65	2,45	3,2	1,0	66
8	8	1,40	2,17	2,0	0,8	56
9	7	1,30	2,57	2,0	0,5	54
10	5	1,55	2,18	2,8	1,0	53

1	2	3	4	5	6	7
11	4	1,89	2,67	3,1	0,8	49
12	8	1,34	2,18	3,1	0,5	67
13	4	1,47	2,54	2,5	1,0	68
14	8	1,57	2,57	2,8	0,8	43
14	7	1,65	2,55	2,8	1,0	65
16	6	2,40	2,77	4,0	0,8	55
17	5	2,10	2,30	4,0	0,5	58
18	6	2,05	2,17	4,3	1,0	44
19	4	2,05	2,44	3,6	0,8	45
20	7	1,95	2,30	3,2	0,5	45
21	4	1,70	2,60	3,5	1,0	46
22	6	1,80	2,40	3,8	0,8	48
23	3	1,91	2,10	3,9	0,5	50
24	8	2,00	2,50	2,6	1,0	51
25	7	1,30	2,75	2,7	0,8	57

Контрольні питання

1. Що називається склепінням природної рівноваги?
2. Поясніть сутність теорії утворення склепіння природної рівноваги по М.М. Протод'яконову.
3. Поясніть сутність теорії утворення склепіння природної рівноваги по П.М. Цимбаревичу.
4. Перерахуйте параметри, які характеризують склепіння природної рівноваги

Практичне заняття № 3

Тема: побудова паспорта міцності гірських порід

Час виконання - 4 академічні години.

Мета роботи - оволодіти методами побудови паспорта міцності гірських порід

Теоретичні відомості

Паспорт міцності гірської породи – це крива, яка огинає граничні кола напружень Мора в координатах нормальних σ (x) і дотичних τ (y). Граничне коло Мора відповідає граничному напруженому стану, що досягається при цьому співвідношенні найбільшого σ_{max} і найменшого σ_{min} головних нормальних

напружень, і має радіус $R = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ із координатами центра

$(\frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}; 0)$.

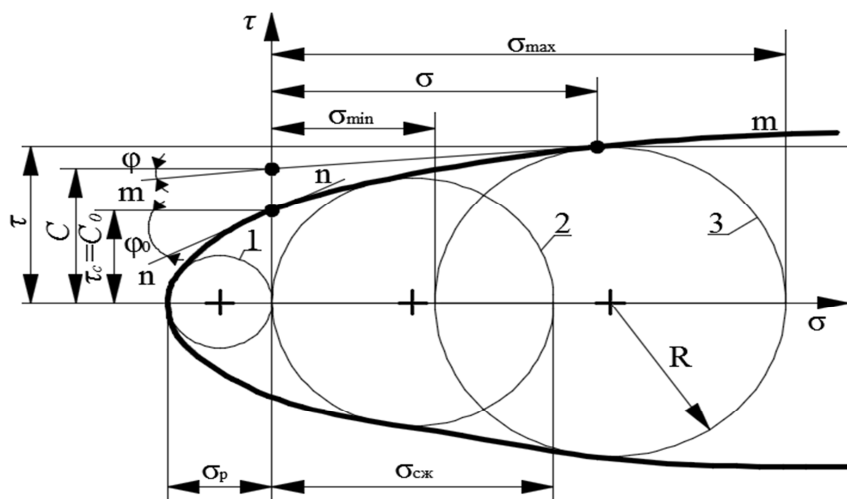


Рисунок 3.1 – Паспорт міцності гірської породи: 1 – коло одновісного розтягу; 2 – коло одновісного стиснення; 3 – коло об'ємного стиснення; pn – дотична до огинаючої в точці її перетину з віссю τ ; mt – дотична до обвідної в будь-якій точці на ній.

Коло Мора – кругова діаграма, що дає наочне уявлення про напруги в різних перетинах, що проходять через дану точку.

На рис. 3.1 наведені найбільш характерні кола Мора, огинаюча їх крива і позначені основні параметри, які визначаються за паспортом міцності:

- граничний опір зрізу τ_c (зчеплення C_0) при відсутності нормальних напружень, тобто $\sigma = 0$ і відповідний кут внутрішнього тертя φ_0 (коефіцієнт внутрішнього тертя $\text{tg}\varphi_0$) – постійні параметри;
- умовне зчеплення C при різній нарузі σ , τ і відповідний кут внутрішнього тертя φ (коефіцієнт внутрішнього тертя $\text{tg}\varphi$) – змінні параметри.

Для побудови паспорта міцності гірської породи використовують такі методи:

- побудова паспорта міцності за даними визначення меж міцності при об'ємному стисненні, одноосьовому стисканні і розтягуванні;
- побудова паспорта міцності за даними визначення меж міцності при зрізі із стисненням, одноосьовому стисканні і розтягуванні;
- визначення меж міцності при одноосьовому стисканні і розтягуванні (розрахунковий метод).

Послідовність виконання роботи

1. Побудувати паспорт міцності гірської породи графічним способом за даними визначення меж міцності при об'ємному стисненні, одноосьовому стисканні і розтягуванні.
2. Побудувати паспорт міцності гірської породи графічним способом за даними визначення меж міцності при зрізі із стисненням, одноосьовому стисканні і розтягуванні.
3. Побудувати паспорт міцності гірської породи розрахунковим способом при одноосьовому стисканні і розтягуванні.
4. Визначити основні параметри паспорта міцності.
5. Висновки.

Довідковий матеріал для виконання завдання

3.1 Метод побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності при об'ємному стисненні, одноосьовому стисканні і розтягуванні

Для побудови паспорта міцності використовують результати визначення меж міцності при об'ємному стисненні σ_{cm}^0 не менше ніж при трьох (в межах заданого діапазону напружень) різних значеннях бокового тиску p .

Послідовність побудови паспорта міцності:

а) За сукупністю парних значень σ_{cm}^0 і $p = \sigma_{min}$ в координатах $\sigma - \tau$ будують сімейство півкіл радіусами $R_1 = \frac{\sigma_{cm}^0 + p}{2}$ з координатами центрів $C_1 \left(\frac{\sigma_{cm}^0 + p}{2}; 0 \right)$.

б) Додають півкола радіусами $R_2 = \frac{\sigma_p}{2}$ і $R_3 = \frac{\sigma_{cm}}{2}$ з координатами центрів $C_2 \left(-\frac{\sigma_p}{2}; 0 \right)$ і $C_3 \left(\frac{\sigma_{cm}}{2}; 0 \right)$, де σ_p – межа міцності при одноосьовому розтягуванні; σ_{cm} – межа міцності при одноосьовому стисненні.

в) Проводять плавну криву, що огинає півкола.

Приклад побудови паспорта за даним визначенням меж міцності при об'ємному стисненні, одноосьовому стисненні і розтягуванні зображено на рис. 3.2.

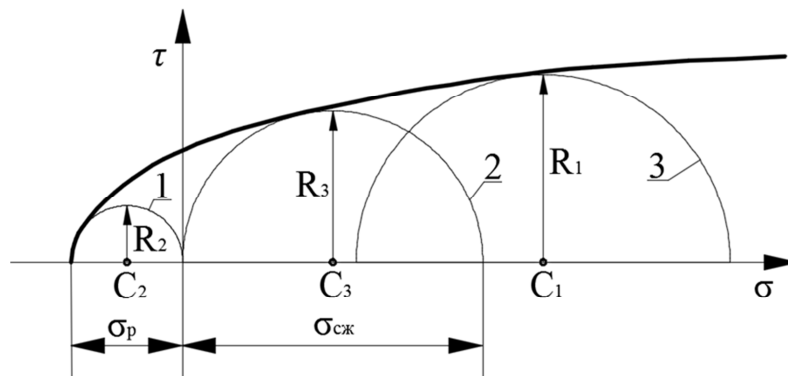


Рисунок 3.2 – Паспорт міцності гірської породи: 1 - коло одноосьового розтягу; 2 - коло одновісного стиснення; 3 - коло об'ємного стиснення

3.2 Метод побудови паспорта міцності за даними визначенням меж міцності при зрізі із стисненням, одноосьовому стисненні і розтягуванні.

Послідовність побудови паспорта міцності:

а) За сукупністю парних значень τ_θ і σ_θ в координатах $\sigma - \tau$ наносять точки 1, 2 і 3, відповідні кути $\theta = 25^\circ, 35^\circ$ і 45° відповідно до рис. 3.3.

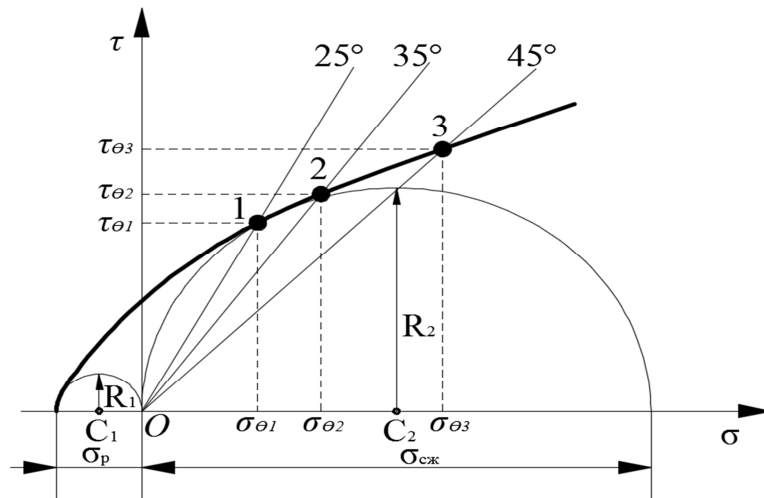


Рисунок 3.3 - Паспорт міцності за даними визначенням міцності при зрізі із стисненням, одноосьовому стисканні і розтягуванні

б) До сімейства точок додають півкола одноосьового розтягування і стиснення радіусами $R_1 = \frac{\sigma_p}{2}$ і $R_2 = \frac{\sigma_{cm}}{2}$ с координатами центрів $C_1\left(-\frac{\sigma_p}{2}; 0\right)$ і $C_2\left(\frac{\sigma_{cm}}{2}; 0\right)$.

в) Проводять плавну криву, що огинає півкола і проходить через точки 1, 2, 3.

3.3 Розрахунковий метод побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності при одноосьовому стисканні і розтягуванні

Метод передбачає визначення координат точок обвідної розрахунковим шляхом по емпіричному рівнянню (3.1) з використанням даних визначень меж міцності при одноосьовому стисканні σ_{cm} , розтягненні σ_p .

Метод застосовується в діапазоні нормальних напружень σ , які перевищують значення $1,5\sigma_{cm}$.

Емпіричне рівняння обвідної граничного кола напруження Мора τ має вигляд

$$\tau = \tau_{\max} \left(\frac{\sigma_k^2}{\sigma_k^2 + a^2} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (3.1)$$

де τ_{\max} – максимальний опір породи зрізу (зрушенню) при гіпотетично повністю закритих під дією нормального тиску тріщинках і порах; σ_k – нормальне напруження щодо початку координат, перенесеного в точку перетину обвідної з віссю абсцис; a – параметр форми огинаючої кривої.

Послідовність побудови паспорта міцності:

а) Визначення координат точок обвідної.

Обчислюють відношення безрозмірних радіусів q_1 і q_2 кіл Мора відповідно для одноосьового розтягу і одноосьового стиснення:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\sigma_{cm}}{\sigma_p} \quad (3.2)$$

визначають параметри форми, що огинаючої:

$$a = \frac{\sigma_{cm}}{2q_2} \quad (3.3)$$

визначають параметри перенесення початку координат:

$$\sigma_0 = a(K_1 + q_1) \quad (3.4)$$

де q_2 і $(K_1 + q_1)$ визначають по табл. 3.1 для відповідного значення відношення q_1/q_2

Далі обчислюють координати σ_{1-10} і τ_{1-10} , окремих точок огинаючої. Для цього спочатку визначають верхнє граничне значення безрозмірної координати K зворотним перерахунком за величиною найбільшого нормального напруження σ , яким повинна бути задана, в залежності від задачі, яка вирішується. Верхня межа діапазону побудови паспорта міцності визначається за наступним виразом.

$$K = \frac{\sigma + \sigma_0}{a} \quad (3.5)$$

Решта значення K і l вибирають за таблицею 3.2 безпосередньо або інтерполяцією.

Знаючи значення безрозмірних координат K і l проводять обчислення координати σ і τ окремих точок обвідної за виразами:

$$\sigma_{1-10} = K \cdot a - \sigma_0 \quad (3.6)$$

$$\tau_{1-10} = l \cdot a \quad (3.7)$$

Кількість точок для побудови обвідної має бути не менше десяти, в тому числі не менше двох точок повинні мати координати області розтягування. Результати обчислень представляють у вигляді таблиці.

б) Побудова обвідної

За сукупністю парних значень σ_{1-10} і τ_{1-10} в координатах $\sigma - \tau$ наносять сімейство точок, які з'єднують плавною кривою (рис. 3.4).

Контроль правильності розрахунків і побудови огинаючої виконують проведенням півкола радіусом $R_1 = \frac{\sigma_p}{2}$ і $R_2 = \frac{\sigma_{cm}}{2}$ с координатами центрів $C_1 \left(-\frac{\sigma_p}{2}; 0 \right)$ і $C_2 \left(\frac{\sigma_{cm}}{2}; 0 \right)$. Якщо розрахунки і побудову виконані правильно, то півкола повинні торкнутися обвідної.

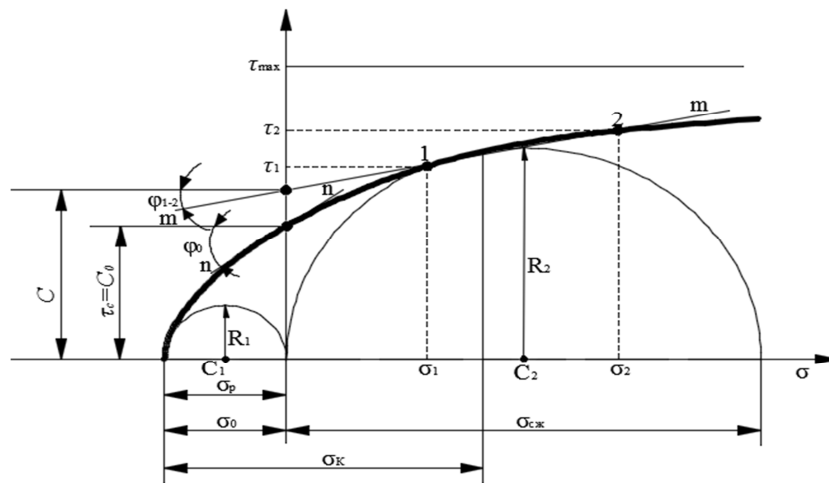


Рисунок 3.4 – Паспорт міцності за даними визначення меж міцності при одноосьовому стисканні і розтягуванні (розрахунковий метод)

Таблиця 3.1 – Значення параметрів q_2 і $K_1 + q_1$

$\frac{q_2}{q_1}$	q_2	$K_1 + q_1$	$\frac{q_2}{q_1}$	q_2	$K_1 + q_1$
1	2	3	4	5	6
1,3	0,6751	1,1418	10,2	0,1331	0,0265
1,5	0,6567	1,1118	10,4	0,1298	0,0253
2,0	0,6138	0,7317	10,6	0,1266	0,0242
2,5	0,5704	0,5252	10,8	0,1235	0,0231
3,0	0,5253	0,3933	11,0	0,1206	0,0222
3,5	0,4784	0,3011	11,2	0,1178	0,0213
4,0	0,4308	0,2335	11,4	0,1152	0,0204
4,4	0,3936	0,1918	11,6	0,1126	0,0196
4,8	0,3584	0,1586	11,8	0,1102	0,0189
5,2	0,3262	0,1322	12,0	0,1079	0,0181
5,6	0,2972	0,1111	12,2	0,1056	0,0175
6,0	0,2717	0,0942	12,4	0,1035	0,0169
6,4	0,2493	0,0807	12,6	0,1014	0,0162
6,8	0,2297	0,0697	12,8	0,0994	0,0157

7,0	0,2208	0,0649	13,0	0,0975	0,0151
7,2	0,2123	0,0607	13,5	0,0930	0,0139
7,4	0,2047	0,0568	14,0	0,0889	0,0128
7,6	0,1974	0,0533	14,5	0,0851	0,0118
7,8	0,1906	0,0500	15,0	0,0816	0,0109
8,0	0,1841	0,0471	16,0	0,0754	0,0095
8,2	0,1781	0,0443	17,0	0,0701	0,0083
8,4	0,1724	0,0419	18,0	0,0654	0,0073
8,6	0,1670	0,0396	19,0	0,0614	0,0065
8,8	0,1619	0,0375	20,0	0,0578	0,0058
9,0	0,1573	0,0356	21,0	0,0546	0,0052
9,2	0,1526	0,0337	22,0	0,0517	0,0047
9,4	0,1483	0,0320	23,0	0,0491	0,0043
9,6	0,1442	0,0305	24,0	0,0467	0,0039
9,8	0,1403	0,0290	25,0	0,0446	0,0036
10,0	0,1366	0,0277	30,0	0,0363	0,0024

Таблиця 3.2 – Значення безрозмірних координат K і l

K	l	K	l
1	2	3	4
2,00	0,6720	0,0300	0,0526
1,80	0,6600	0,0200	0,0388
1,60	0,6450	0,0100	0,0231
1,40	0,6310	0,0080	0,0196
1,20	0,6010	0,0060	0,0157
1,00	0,5630	0,0050	0,0137
0,90	0,5400	0,0040	0,0115
0,80	0,5110	0,0030	0,0094
0,70	0,4820	0,0020	0,0069
0,60	0,4440	0,0010	0,0041
0,50	0,3990	0,0009	0,0038
0,40	0,3410	0,0008	0,0035
0,30	0,2865	0,0007	0,0031
0,20	0,2151	0,0006	0,0028
0,10	0,1294	0,0005	0,0024

в) Визначення основних параметрів паспорта міцності

Граничний опір зрізу τ_c (зчеплення C_0) при відсутності нормальних напружень визначають як ординату точки перетину обвідної з віссю τ згідно рис. 3.1, а відповідний кут внутрішнього тертя φ_0 як кут нахилу дотичної mn до обвідної в цій же точці.

Умове зчеплення C в будь-якій точці (σ, τ) обвідної визначають як ординату точки перетину дотичної mt до обвідної в точці (σ, τ) з віссю τ , а

відповідний кут внутрішнього тертя φ як кут між цією дотичною і віссю σ :

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\tau - C}{\sigma}.$$

Умовне зчеплення C_{1-2} в заданому діапазоні напружень ($\sigma_1 \dots \sigma_2$) або ($\tau_1 \dots \tau_2$) визначають, як ординату точки перетину прямої, проведеної через відповідні точки обвідної, з віссю τ згідно рис. 3.3, а відповідний кут внутрішнього тертя φ_{1-2} як кут між цією прямою і віссю σ

$$\varphi_{1-2} = \operatorname{arctg} \frac{\tau_2 - \tau_1}{\sigma_2 - \sigma_1}$$

Контрольні питання

1. Що називають паспортом міцності?
2. Назвіть методи побудови паспорта міцності?
3. Охарактеризуйте метод побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності при об'ємному стисненні, одноосьовому стисканні і розтягуванні.
4. Які основні параметри визначають використовуючи паспорт міцності гірської породи?

Таблиця 3.3 - Вихідні дані для виконання практичної роботи №3

№ п/п	До завдання 1		До завдання 2										До завдання 3	
	Б _{max} , МПа	Б _{min} , МПа	τ _θ , МПа				Б _θ , МПа			Б _{cm} , МПа	Б _p , МПа	Б _{cm} , МПа	Б _p , МПа	
			25°	35°	45°	25°	35°	45°						
1	120	50	50	54	60	23	37	60	115	10	78	12		
2	122	45	45	51	57	21	36	57	110	11	76	13		
3	134	40	43	48	54	18	34	54	105	11	65	10		
4	132	50	37	46	51	16	32	51	100	12	55	10		
5	110	40	36	44	48	16	31	48	95	13	75	14		
6	111	55	35	42	46	16	29	46	90	14	66	12		
7	103	51	33	39	44	15	27	44	85	16	56	14		
8	133	34	32	37	41	15	26	41	80	11	66	17		
9	111	56	30	35	39	14	24	39	75	12	56	20		
10	164	50	28	32	37	13	22	37	70	13	68	10		
11	120	50	27	30	35	12	21	35	65	12	75	12		
12	120	50	24	27	32	11	19	32	60	11	67	13		
13	120	30	22	25	29	11	18	29	55	13	77	13		
14	100	12	20	23	27	9	16	27	50	14	87	14		
15	121	34	18	20	23	7	14	23	45	11	86	12		
16	113	12	16	18	21	7	12	21	40	10	85	12		
17	123	14	14	16	18	7	11	18	35	8	85	10		
18	144	34	13	14	16	6	9	16	30	6	65	16		
19	123	54	12	12	14	6	8	14	25	4	66	21		
20	122	23	8	9	12	4	6	12	20	4	69	12		
21	124	25	9	7	12	3	5	12	25	7	70	25		
22	128	20	11	10	12	5	7	11	21	5	65	31		
23	100	21	10	9	14	7	6	10	27	9	67	30		
24	101	31	9	5	10	4	7	10	30	10	73	31		
25	111	37	15	10	12	5	6	15	20	5	65	14		

Практичне заняття №4

Тема: вивчення характеру зрушення земної поверхні і масиву гірських порід при очисному вийманні

Час виконання – 4 академічні години

Мета роботи – вивчення методики визначення параметрів зон зрушення і деформації масиву гірських порід при очисному вийманні

Теоретичні відомості

Об'єктом вивчення зрушення гірських порід є земна поверхня, що деформується в результаті підземної розробки, і весь масив гірських порід, який охоплює вплив очисної виробки (рис. 4.1).

Верхньою межею області зрушення гірських порід є земна поверхня, на якій утворюється мульда зрушень.

Мульда зрушення земної поверхні – ділянка земної поверхні, на якій під впливом відпрацювання корисної копалини підземним способом виникли зрушення і деформації. На процес зрушення гірських порід впливають природні та штучні фактори.

До природних відносяться: геологічна будова гірського масиву, фізико-механічні властивості гірських порід, кут падіння, глибина залягання, тектонічне порушення, гідрогеологічні умови і т.д.

До штучних відносять: глибину ведення гірських робіт, розміри виробленого простору, порядок ведення гірських робіт, швидкість посування фронту очисних робіт, система розробки, спосіб управління покрівлею та ін.

Контури мульди зрушень на поверхні з межами очисних робіт пов'язують через зовнішні граничні кути β_0 (по падінню), γ_0 (по повстанню) і δ_0 (по простяганню).

Розрізняють повну і неповну підробку земної поверхні. При повній підробці зона зрушень охоплює всю надвугільну товщу і точки максимальних опускань досягають земної поверхні з утворенням dna мульди зрушення. При неповній підробці зона повних зрушень обмежена кутами повних зрушень ψ_1 (по падінню), ψ_2 (по повстанню).

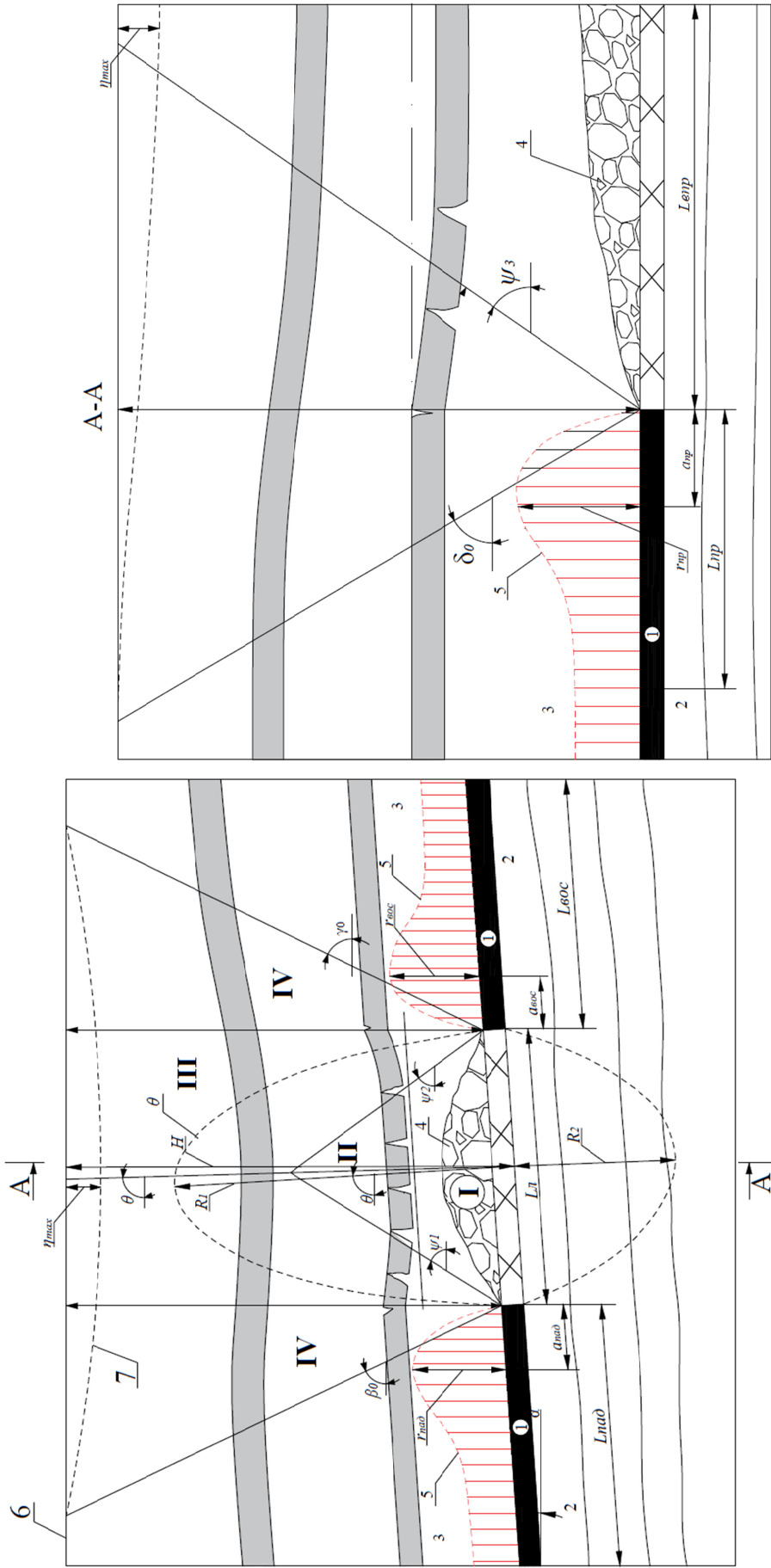


Рисунок 4.1 – Зони зрушення гірських порід навколо очисного вибою: 1 – вугільний пласт; 2, 3 – відповідно породи підлоги і покрівлі пласта; 4 – вироблений простір; 5 – зона опорного тиску; 6 – земля поверхня; 7 – лінія осідання земної поверхні (мульда зрушення земної поверхні)

Процес зрушення гірських порід починається з прогину шарів порід, розташованих безпосередньо над виробкою, і зазвичай супроводжується вивалами з покрівлі. Розвиток зрушень підробленої товщі відбувається у вигляді послідовного відділення нижніх шарів від верхніх і прогину їх по нормалі до нашарування подібно балкам або плитам, затисненим по контуру.

У міру збільшення виробленого простору в рух задіюються все нові і нові ділянки, що підробляють товщі і при великих розмірах його процес зрушення товщі порід поширюється до земної поверхні.

Частина масиву гірських порід, в межах яких відбуваються деформації, зрушення і обвалення порід, викликані перерозподілом напружень в результаті ведення очисних робіт, називається областю впливу очисної виробки (рис. 4.1). В межах області впливу в масиві порід виділяють наступні зони, які різняться ступенем і характером впливу на них очисної виробки: I – безладного обвалення; II – вигину, в якому виділяється зона розвантаження; III – повних (рівномірних) зрушень; IV – опорного тиску.

Частина масиву в області впливу очисної виробки, яка розташована над пластом, називається підробленою, а під пластом - надробленою.

Процес зрушення гірських порід і земної поверхні вивчають шляхом натурних досліджень, моделювання, теоретичними дослідженнями.

Послідовність виконання завдання

1. Визначити висоту зони обвалення гірського масиву.
2. Визначити параметри зони повних зрушень.
3. Визначити параметри зон розвантаження і опорного тиску.
4. Визначити відстань до точки максимуму опорного тиску.
5. Розрахувати максимальні напруги в зоні опорного тиску.
6. Визначити коефіцієнт концентрації напружень.
7. Побудувати в масштабі схеми зрушень гірських порід.
8. Висновки.

Довідковий матеріал для виконання завдання

4.1 Визначення висоти зони обвалення гірського масиву

Зона обвалення гірського масиву знаходиться безпосередньо над очисною виробкою. Там відбувається повне руйнування гірського масиву і його обвалення у вироблений простір. Припускають, що вона поширюється вгору по нормалі на незначну висоту і в більшості випадків не перевищує 3 – 6 потужностей вугільного пласта.

Висота зони обвалення залежить від відношення потужності окремих шарів безпосередньої покрівлі та їх фізико-механічних властивостей, виймальної потужності вугільного пласта і його кута падіння. Орієнтовно висоту зони обвалення можна визначити за наступною формулою:

$$h_{об} = \frac{m}{k - 1}, \text{ м} \quad (4.1)$$

де m – потужність вугільного пласта, м; k – коефіцієнт розпушення породи.

4.2 Визначення параметрів зони повних зрушень

Зона повних зрушень утворюється в товщі масиву і на земній поверхні при певних співвідношеннях розмірів виробки і глибини залягання пласта. Одночасно з опусканням порід над очисною виробкою відбувається стиснення і видавлення як вугільного пласта, так і слабких порід в сторону виробленого простору.

В результаті цього зрушення в надвугільній товщі зона поширюється за межі очисних робіт в бік виробленого простору, що призводить до формування на земній поверхні мульди зрушень, яка характеризується осіданням η_{max} .

Контури мульди зрушення на поверхні пов'язують з межами очисних робіт через зовнішні граничні кути β_0 (по падінню), γ_0 (по повстанню) і δ_0 (по простяганню). Над виробленим простором фіксуються кути повних зрушень: ψ_1 – по падінню, ψ_2 – по повстанню, ψ_3 – по простяганню, θ – кут максимального опускання. Вищевказані кути можна визначити з нижченаведених виразів:

$$\beta_0 = 84 - 0,8\alpha, \text{ град} \quad (4.2)$$

$$\gamma_0 = 80 + 0,6\alpha, \text{ град} \quad (4.3)$$

$$\delta_0 = 84^\circ \quad (4.4)$$

де α – кут падіння вугільного пласта, град

$$\psi_1 = 57 - 25\alpha, \text{ град} \quad (4.5)$$

$$\psi_2 = 55 + 0,38\alpha, \text{ град} \quad (4.6)$$

$$\psi_3 = 55^\circ \quad (4.7)$$

$$\theta = 90 - 0,5\alpha, \text{ град} \quad (4.8)$$

Максимальне осідання земної поверхні до першої підробки надвугільної товщі визначається з виразу:

$$\eta_{max} = gmc\cos\alpha, \text{ м} \quad (4.9)$$

де $g = g_0 t_1 t_2$; m – виймальна потужність, м; t_1, t_2 – коефіцієнти, що враховують вплив розмірів виробки і глибину розробки, визначають за табл. 4.1.

Для визначення t_1, t_2 , спочатку розраховують коефіцієнти N_1 і N_2 за такими виразами:

$$N_1 = \frac{L_l}{H} \quad (4.10)$$

$$N_2 = \frac{L_{cm}}{H} \quad (4.11)$$

де L_l – довжина лави, м; $L_{в.пр}$ – довжина виймального стовпа, що відпрацьована, м; H – глибина залягання вугільного пласта, м

Таблиця 4.1 - Значення коефіцієнтів t_1 і t_2

N_1 і N_2									
$\geq 1,6$	1,4	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	$0,3 \leq$
1,0	0,92	0,85	0,78	0,69	0,65	0,60	0,55	0,49	0,43

4.3. Визначення параметрів зони розвантаження

Зоною розвантаження називається частина області впливу очисної виробки, в межах якої напруження, що діють перпендикулярно нашаруванню, які менше відповідних напружень в незайманому масиві.

Зона розвантаження утворюється над і під виробленим простором. Крива, яка оконтурює зону розвантаження за своїми геометричними характеристиками близька до двох еліпсів, мала вісь яких дорівнює величині виробленого простору L_n . Верхня і нижня піввісь еліпса визначається за такими формулами:

$$R_1 = 1,5L_n, \text{ м} \quad (4.12)$$

– нижня

$$R_2 = L_n, \text{ м} \quad (4.13)$$

Варто зазначити, що наведені піввісі еліпсів розвантаження залежать від фізико-механічних властивостей гірських порід. Їх геометричні параметри орієнтовні. Неоднакова величина великих піввісей розвантаження R_1 і R_2 пояснюється тим, що в породах підошви зона розвантаження розподіляється на меншу величину, ніж в породах покрівлі. Така ситуація відбувається через дії власної ваги зруйнованих порід в зоні розвантаження. У разі негоризонтального залягання пластів $>10^\circ$, нахил великої піввісі зони розвантаження складає 82° .

4.4 Визначення параметрів зони опорного тиску

Зона опорного тиску утворюється внаслідок зависання порід надвугільної товщі як над рухомим вибоєм лави, так і біля границь очисних робіт. Напруження в зоні опорного тиску більше ніж напруження непорушеного гірського масиву. Орієнтовно протяжність зони опорного тиску в площині пласта, яка розробляється за падінням і простяганням від очисного вибою в сторону гірського масиву визначається за такими формулами:

$$l_{nad} = EH_{nad} \text{ctg}\beta_0 \cos\alpha, \text{ м} \quad (4.14)$$

$$l_{voc} = EH_{voc} \text{ctg}\gamma_0 \cos\alpha, \text{ м} \quad (4.15)$$

$$l_{np} = EH \text{ctg}\delta_0, \text{ м} \quad (4.16)$$

$$H_{nad} = H + \Delta H, \text{ м} \quad (4.17)$$

$$H_{\text{вос}} = H - \Delta H, \text{ м} \quad (4.18)$$

$$\Delta H = \sin \alpha \frac{L_{\text{л}}}{2}, \text{ м} \quad (4.19)$$

де E – коефіцієнт, який залежить від глибини залягання вугільного пласта (табл. 4.3); $H_{\text{над}}$, $H_{\text{вос}}$ – глибина ведення гірничих робіт відносно нижньої, верхньої границі виробленого простору, м; H – глибина залягання вугільного пласта, м; E – коефіцієнт, який залежить від глибини розробки, значення якого наведені нижче.

Таблиця 4.2 - Значення коефіцієнта E

Глибина, м	200	250	300	350	400	450	500	550	600
E	0,93	0,86	0,79	0,75	0,71	0,68	0,64	0,60	0,57

Максимальний розмір зони опорного тиску в породах покрівлі визначається за такими виразами:

$$r_{\text{над}} = 1,6l_{\text{над}} \cos \alpha, \text{ м} \quad (4.20)$$

$$r_{\text{вос}} = 1,6l_{\text{вос}} \cos \alpha, \text{ м} \quad (4.21)$$

$$r_{\text{пр}} = 1,6l_{\text{пр}}, \text{ м} \quad (4.22)$$

4.5 Розрахунок відстані до точки максимуму опорного тиску

Визначають безрозмірні параметри $D_{\text{над}}$, $q_{\text{над}}$ – за падінням; $D_{\text{вос}}$, $q_{\text{вос}}$ – за повстанням; $D_{\text{пр}}$, $q_{\text{пр}}$ – за простяганням пласта, що дає можливість визначити значення параметра q .

Знаходиться параметр зрушення q з виразу:

$$q_{\text{над}} = \frac{L_{\text{л}}}{H_{\text{над}} \text{ctg} \psi_1} \quad (4.23)$$

$$q_{\text{вос}} = \frac{L_{\text{л}}}{H_{\text{вос}} \text{ctg} \psi_2} \quad (4.24)$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{л}}}{H_{\text{пр}} \text{ctg} \psi_3} \quad (4.25)$$

Визначається безрозмірний параметр D за формулою:

$$D_{\text{над}} = \left(\frac{\sigma_{\text{сж}}}{\lambda H_{\text{пр}}} \cdot \frac{L_{\text{л}}}{m} \right) \quad (4.26)$$

$$D_{\text{вос}} = \left(\frac{\sigma_{\text{сж}}}{\lambda H_{\text{пр}}^{\text{вос}}} \cdot \frac{L_{\text{л}}}{m} \right) \quad (4.27)$$

$$D_{\text{пр}} = \left(\frac{\sigma_{\text{сж}}}{\lambda H_{\text{пр}}^{\text{пр}}} \cdot \frac{L_{\text{ст}}}{m} \right) \quad (4.28)$$

де $\sigma_{\text{сж}}$ – межа міцності вугілля на стиснення, Па; m – виймальна потужність пласта, м; $H_{\text{пр}}$ – приведена глибина розробки, м; γ – об'ємна вага порід, т / м³.

Наведена глибина розробки $H_{\text{пр}}$ обчислюється за формулою:

$$H_{\text{пр}}^{\text{над}} = \left(0,5 \cdot \frac{L_{\text{л}}}{2L_{\text{ст}}} \right) H_{\text{над}} \quad (4.29)$$

– за падінням

$$H_{\text{пр}}^{\text{вос}} = \left(0,5 \cdot \frac{L_{\text{л}}}{2L_{\text{ст}}} \right) H_{\text{вос}} \quad (4.30)$$

– за підійманням

$$H_{\text{пр}}^{\text{пр}} = \left(1 - \frac{L_{\text{л}}}{2L_{\text{ст}}} \right) H_{\text{пр}} \quad (4.31)$$

– за простяганням

де $L_{\text{л}}$ – довжина лави, м; $L_{\text{ст}}$ – довжина виймального стовпа, що відпрацьована, м

Знаходиться параметр зрушення g з виразу:

$$g_{\text{над}} = \frac{0,5L_{\text{л}}}{H_{\text{пр}}^{\text{над}} \text{ctg}\psi_3} \quad (4.32)$$

$$g_{\text{вос}} = \frac{0,5L_{\text{л}}}{H_{\text{пр}}^{\text{вос}} \text{ctg}\psi_3} \quad (4.33)$$

$$g_{\text{пр}} = \frac{0,5L_{\text{л}}}{H_{\text{пр}}^{\text{пр}} \text{ctg}\psi_3} \quad (4.34)$$

За обчисленими значеннями D і g з табл. 4.3 визначається безрозмірний параметр δ .

Таблиця 4.3 – Значення параметра δ

g	Значення δ при D і відповідному g							
	5	20	40	60	100	160	240	340
$g=0$	0,4225	0,1655	0,1050	0,0764	0,0571	0,0384	0,0299	0,0225
$g=0,25$	0,4225	0,1530	0,0965	0,0741	0,0526	0,0384	0,0288	0,0235
$g=0,5$	0,4225	0,1420	0,0893	0,0684	0,0482	0,0352	0,0267	0,0214
$g=0,75$	0,4225	0,129	0,0822	0,0627	0,0449	0,0352	0,0246	0,0194
$g=1$	0,4225	0,129	0,0822	0,0627	0,0373	0,0267	0,0325	0,0173

Визначивши параметр δ , можна розрахувати відстань від точки максимуму опорного тиску до границі виробленого простору за наступними формулами:

$$a_{над} = L_l \delta_{над,М} \quad (4.35)$$

$$a_{вос} = L_l \delta_{вос,М} \quad (4.36)$$

$$a_{np} = L_l \delta_{np,М} \quad (4.37)$$

4.6 Розрахунок максимальних напружень в зоні опорного тиску

Напруження в точці максимуму опорного тиску визначається за такими формулами:

$$\zeta_{над} = \frac{\sigma_{max}^{над}}{\gamma H_{np}^{над}} \quad (4.41)$$

- за падінням

$$\zeta_{вос} = \frac{\sigma_{max}^{вос}}{\gamma H_{np}^{вос}} \quad (4.42)$$

- за підняттям

$$\zeta_{np} = \frac{\sigma_{max}^{np}}{\gamma H_{np}^{np}} \quad (4.43)$$

- за простяганням

4.8 Побудова схеми зони зрушення гірських порід

Побудова схеми зони зрушення гірських порід виконується в масштабі згідно рис. 4.1.

Контрольні питання

- 1. Дайте визначення наступним термінам: мільда зрушення, зона розвантаження, зона опорного тиску.*
- 2. Перелічіть основні фактори, що впливають на характер зрушення гірських порід і земної поверхні.*
- 3. Назвіть зони деформування гірських порід при підземній розробці пластових родовищ.*
- 4. Опишіть процес зрушення гірських порід при підземній розробці корисних копалин.*
- 5. За допомогою яких методів вивчають процес зрушення гірських порід і земної поверхні?*

№ п/п	Потужність пласта m , м	Кут падіння α , град	q_0	Довжина лави $L_{л}$, м	Довжина виймкового стовпа, яка відпрацьована $L_{ст}$, м	Глибина залягання H , м	Щільність порід γ , т/м ³	Міцність вугілля $\sigma_{сж}$, МПа	Коефіцієнт розпушення k
1	0,86	2	0,80	165	1100	485	2,02	25,0	1,15
2	1,22	3	0,81	210	1150	355	2,04	26,7	1,17
3	0,81	4	0,82	190	1080	500	2,06	28,2	1,20
4	1,22	5	0,83	235	1180	420	2,08	29,7	1,34
5	1,10	6	0,84	180	1250	340	2,10	31,2	1,22
6	1,47	2	0,85	240	1400	325	2,12	32,7	1,40
7	0,95	3	0,80	220	1330	415	2,14	34,2	1,16
8	0,78	4	0,81	185	1270	560	2,16	35,7	1,31
9	1,11	5	0,82	205	1255	600	2,18	37,2	1,29
10	1,86	6	0,83	265	1160	435	2,20	38,7	1,36
11	0,92	2	0,84	155	1120	545	2,22	40,2	1,15
12	1,34	3	0,85	195	1190	400	2,24	41,7	1,18
13	1,79	4	0,80	200	1350	490	2,26	43,2	1,24
14	0,98	5	0,81	170	1280	510	2,28	44,7	1,27
15	0,80	6	0,82	175	1310	365	2,30	46,2	1,33
16	1,25	2	0,83	215	1010	300	2,32	47,7	1,30
17	1,76	3	0,84	230	1210	460	2,34	49,2	1,32
18	0,83	4	0,85	195	1250	475	2,36	50,7	1,17
19	0,91	5	0,80	235	1290	500	2,38	52,2	1,19
20	1,11	6	0,81	200	1300	430	2,41	53,7	1,39
21	1,53	2	0,82	160	1200	455	2,42	55,2	1,23
22	0,75	3	0,83	240	1340	350	2,44	56,7	1,21
23	0,85	4	0,84	270	1220	405	2,46	58,2	1,15
24	1,34	5	0,85	250	1260	480	2,48	2,50	1,32
25	1,53	6	0,80	240	1350	500	2,50	2,67	1,33

Практичне заняття №5

Тема: розрахунок напруженого стану масиву гірських порід

Час виконання – 2 академічні години.

Мета роботи – визначення величин нормальних і дотичних напружень в площині напластувань порід у вибої польового штреку.

Теоретичні відомості

Напружений стан масиву визначається глибиною залягання, середньою щільністю, будовою, характером нашарування і властивостями порід, що входять до складу масиву, а також неотектонічними рухами в земній корі, викликаними глибинною будовою і розвитком Землі.

Основною причиною напруженого стану гірських порід в масиві є об'ємні сили гравітації. Відповідно до концепції літостатичного тиску, вертикальні напруження на глибині H визначаються масою стовпа порід до земної поверхні (див. рис. 5.1):

$$\sigma_z = \gamma H \quad (5.1)$$

Величина горизонтальних напружень залежить від властивостей порід, які враховуються при виборі механічної моделі масиву.

Щільність порід можна прийняти в середньому $2,5 \text{ т/м}^3$, або 25 кН/м^3 .

Так, на глибині 400 м вертикальний тиск від впливу маси вищерозміщених порід становить 10 МПа, на глибині 1000 м – 25 МПа і т.д.

Незайманий масив гірських порід на глибині 2 – 3 км можна розглядати як суцільне середовище з пружними властивостями. Тоді горизонтальні напруження від впливу маси верхніх порід будуть

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H = \lambda \gamma H \quad (5.2)$$

де $\lambda = \mu / (1 - \mu)$ – коефіцієнт бокового розпору;

μ – коефіцієнт Пуассона, що дорівнює відношенню поперечної деформації до повздовжньої (з протилежним знаком).

Для гірських порід $\mu = 0,2 \dots 0,4$, при цьому $\sigma_x = \sigma_y = (0,25 \dots 0,67) \gamma H$.

З огляду на те, що $\tau_{\max} = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$, величина максимальних дотичних напружень при $\mu = 0,2$ складе $\tau_{\max} = 0,37 \gamma H$; при $\mu = 0,4$ $\tau_{\max} = 0,17 \gamma H$.

Таким чином, дотичні напруження в незайманому масиві виявляються нижче максимальних нормальних напружень в 2,5 – 5 разів.

Припускають, що на великій глибині коефіцієнт μ прагне до свого максимуму, рівного 0,5, при цьому співвідношення $\mu / (1 - \mu)$ наближається до одиниці.

Нормальні і дотичні напруження на площадці, нахилений до горизонту під кутом α (в площині нашарування порід), визначають за відомими формулами теорії пружності:

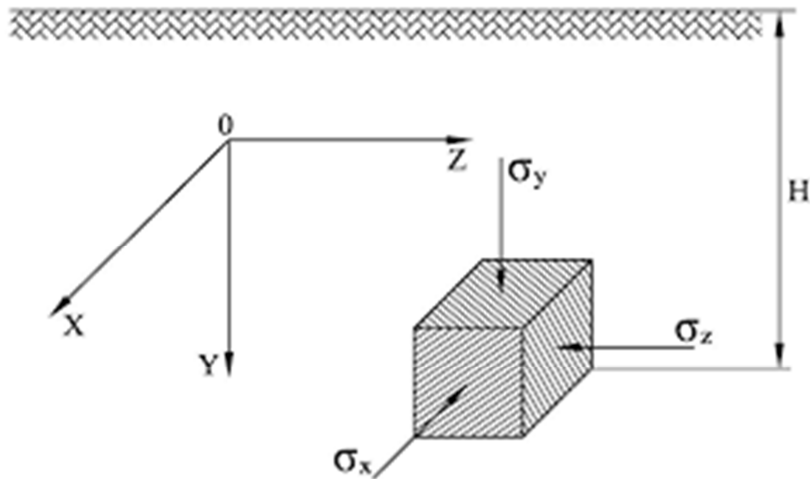


Рисунок 5.1 – Компоненти напруженого стану масиву гірських порід

$$\sigma_a = \sigma_z \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha \quad (5.3)$$

$$\tau_a = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha \quad (5.4)$$

Аналітично встановити нормальні і дотичні напруження можливо шляхом графічного зображення кіл напруження Мора (рис. 5.2). Вони дають можливість досліджувати напруження в площині з будь-яким нахилом.

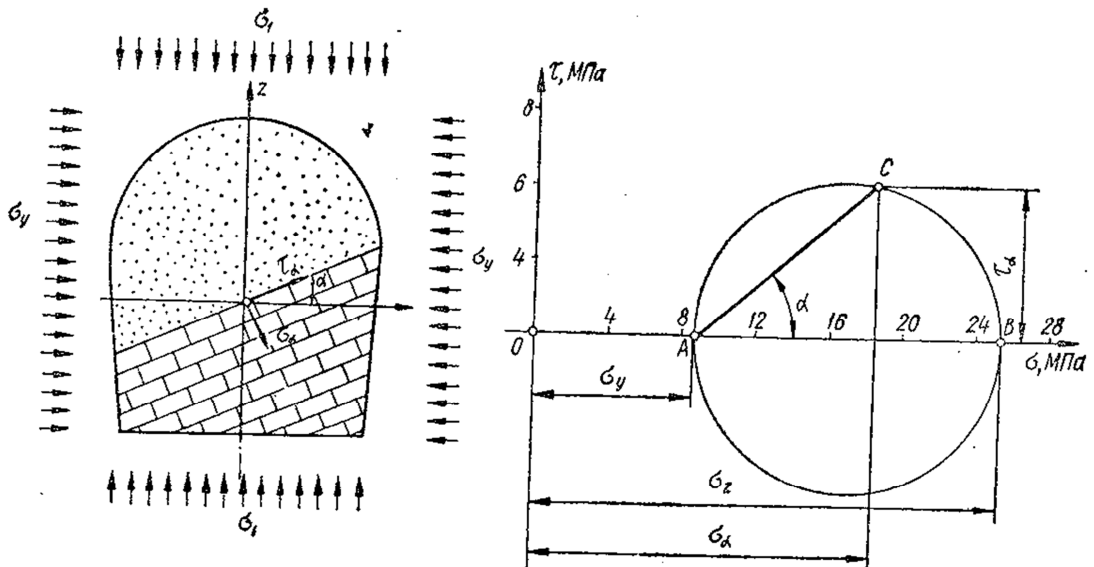


Рисунок 5.2 – Визначення нормальних і дотичних напружень в площині нашарування порід

Кола напружень будують наступним чином. По осі абсцис від початку координат відкладають максимальне σ_y і мінімальне σ_z значення нормальних напружень, що діють на зразок породи. На різниці відрізків $\sigma_y - \sigma_z$, як на діаметрі, будують коло (або півколо). Значення дотичного і нормального напруження в будь-якій точці породи можуть бути знайдені, якщо заданий кут нахилу площини α , в якому визначається напруження. Під цим кутом з точки перетину кола з абсцисою проводять пряму до її перетину з колом. Ордината

точки перетину чисельно дорівнює значенню відшуканих дотичних напружень τ_{α} , абсциса – значенням нормальних напружень σ_{α} .

Стійкість порід в гірських виробках, що має відкриті поверхні, визначається, з одного боку, комплексом їх міцності і деформаційних властивостей в масштабі даної виробки, а з іншого – характером впливаючого напруження. Просторове орієнтування і величина напружень визначається гравітаційними і тектонічними силами, що діють в масиві, а також конфігурацією виробок, яка обумовлює перебудову полів напружень і концентрацію останніх у прилеглих частинах масиву. Найбільш характерним видом напруженого стану порід в місці закладення гірських виробок є нерівномірне тривісне стиснення (рис. 5.3)

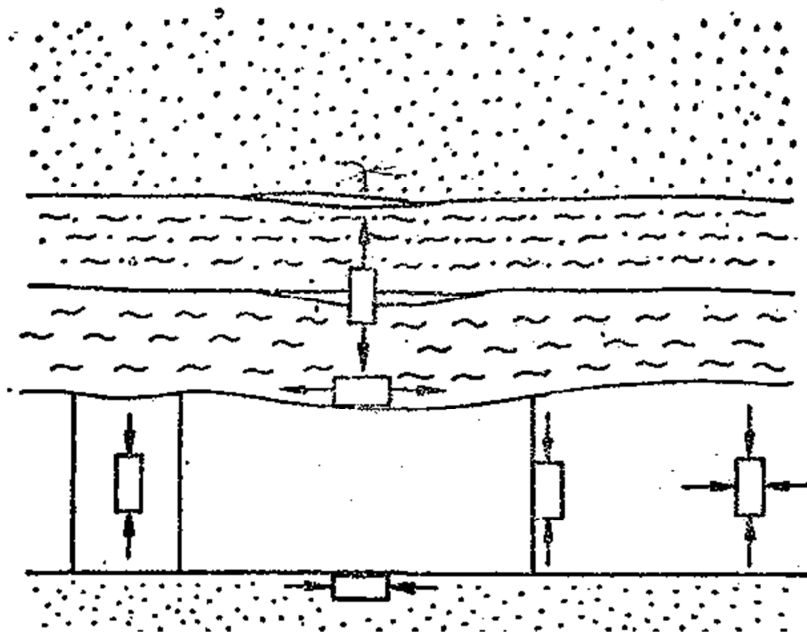


Рисунок 5.3 – Характерні види напруженого стану порід при веденні гірничих робіт

Безпосередньо на стінках гірничих виробок на поверхні укосу один з компонентів напружень дорівнює нулю, і напружений стан є двохосьовим стисненням. У високих ціликах напружений стан наближається до одноосьового стиснення. В покрівлі підземних виробок при достатньому прольоті можуть існувати вертикальні напруження розтягу; в разі прогину шаруватої покрівлі в окремих зонах покрівлі утворюються також горизонтальні напруження розтягу. Розтягуючі напруження можуть виникати в процесі деформування укосів на деякому віддаленні від їх верхньої бровки. Якщо масив містить будь-які площини з ослабленою міцністю, то характеристиками напруженого стану за цими площинами будуть нормальні σ і дотичні τ напруження.

Невідповідність механічних характеристик масиву і виникаючі в ньому напруження призводить до розвитку надмірних деформацій. В одних випадках це можуть бути деформації пластичного характеру без утворення видимих тріщин, які деформують первісну конфігурацію виробки і ускладнюють її

експлуатацію. У більш жорстких породах вже при відносно невеликих деформаціях розвиваються руйнування, відбувається обвалення покрівлі виробок і укосів.

В крихких породах процес руйнування може протікати в динамічному режимі у вигляді стрільних гірських ударів, а в поєднанні з газодинамічними явищами – у вигляді раптових викидів.

Задача

Виходячи з гірничо-геологічних умов ведення гірничих робіт (табл. 5.1) треба визначити величину нормальних і дотичних напружень в площині нашарування порід у забої штреку. Дати аналітичне та графічне рішення і оцінити похибку графічного рішення.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для вирішення практичної роботи №5

№ вар.	Глибина розробки H , м	Кут падіння α°	Коефіцієнт Пуасона μ
1	300	5	0,12
2	350	10	0,14
3	400	15	0,16
4	450	20	0,18
5	500	25	0,20
6	550	30	0,22
7	600	35	0,24
8	700	40	0,26
9	750	45	0,28
10	800	50	0,30
11	850	5	0,12
12	900	10	0,14
13	1000	15	0,16
14	1020	20	0,18
15	1040	25	0,20
16	1060	30	0,22
17	1080	35	0,24
18	1100	40	0,26
19	1150	45	0,28
20	1200	50	0,30

Практичне заняття №6

Тема: розрахунок реакцій механізованого кріплення і кроку руйнування основної покрівлі

Час виконання – 2 академічні години.

Мета роботи – вивчення механічних процесів взаємодії вміщуючих порід і кріплень в лавах пологих пластів. Визначення основних параметрів механізованих кріплень до заданих гірничо-геологічних умов.

Теоретичні відомості

Розрахунки кріплень в лавах, слід розглядати окремо для різних стадій роботи основної покрівлі. Основними розрахунковими параметрами є: відстань між стояками в рядах a_2 і між рядами b_2 ; величина вдавнення стояків в породи покрівлі і підшви; максимальна реакція кріплення: посадкової R_{max} і при вибійної r_{max} ; максимальна посадка Δh_{max} ; початковий розпір кріплення: посадкової P_{noc} і привибійної $P_{пр}$. До того ж є параметри, які визначаються особливостями конструкції кріплень: початкова посадка $\Delta h_{поч}$ для кріплень постійного опору і λ для кріплень наростаючого опору.

Розрахункові методи повинні давати можливість визначати межі реакцій кріплень і опускань покрівлі, а не їх значення для кожного даного моменту часу, тому всі розрахунки повинні виконуватися для найбільш не вигідних моментів спільної роботи покрівлі та кріплення.

Розрахункові методи розглядаються при допущенні, що деформації пласта і порід підшви малі в порівнянні з опусканнями покрівлі; це відповідає більшій частині реальних умов.

Розрахунки необхідно вести диференційовано для різних типів тріщинуватості безпосередньої покрівлі.

Безпосередню покрівлю, складену твердими шаруватими породами, доцільно класифікувати таким чином:

I тип - тріщини відсутні;

II тип - тріщини орієнтовані в напрямку, близькому до падіння пласта (паралельно вибію);

III тип - тріщини орієнтовані в напрямку, близькому до простягання пласта;

IV тип - комбіноване розташування тріщин; тріщини орієнтовані в напрямку, близькому до простягання, перетинаються рідкісними тріщинами, орієнтованими по падінню;

V тип - кілька довільно орієнтованих, взаємноперетинаючих систем тріщин будь-якої частоти.

Характер й порядок розломів (показано цифрами 1 – 16) безпосередньої покрівлі для перших трьох типів тріщинуватості представлено на рис. 6.1.

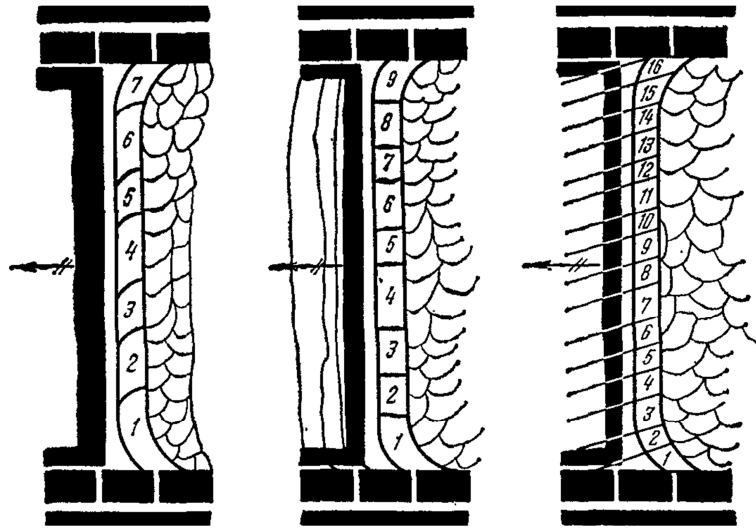


Рисунок 6.1 – Характер і порядок розломів безпосередньої покрівлі в залежності від тріщинуватості: а, б, в - відповідно при відсутності тріщин, при тріщинах, орієнтованих в напрямку, близькому до падіння і простягання пласта

Різні типи механізованих кріплень досить сильно відрізняються одна від одної за конструкцією і технічними характеристиками. Однак, вони мають загальні характерні риси, до числа яких відносяться: використання гідростояків з високою робочою реакцією; відносно мала ширина привибійного простору $l_{n.з}$, яка підтримується; малий крок пересування $l_{ш}$; можливість послідовного переміщення секцій слідом за вийманням; відносно великі площі опорних елементів та ін.

В даний час можна виділити як найбільш перспективні кріплення двох типів: підтримуючого і захисного-підтримуючого.

Взаємодія кріплення підтримуючого типу з породами, за даними досліджень, і для найбільш характерних умов схематично наведено на рис. 6.2.

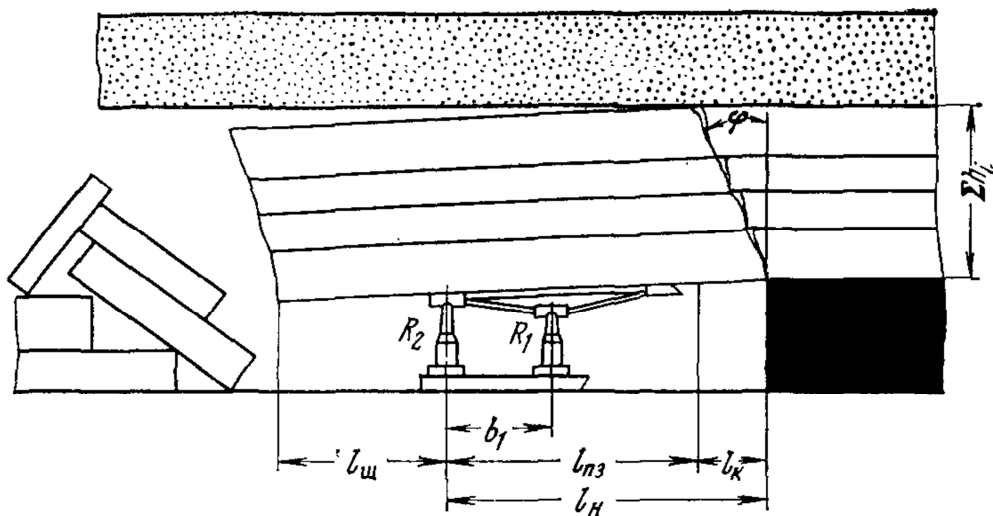


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема до визначення реакцій механізованого кріплення підтримуючого типу

Шари порід покриваючої товщі, починаючи від безпосередньої покрівлі і аж до шарів, що виходять під наноси, в залежності від ступеня тріщинуватості деформуються і руйнуються подібно плитам, суцільними або несучільними пачками плит.

Розрахунки механізованих кріплень, також повинні проводитися з урахуванням типу тріщинуватості порід, наявності або відсутності впливу основної покрівлі, кроку і порядку пересування.

При малій величині кроку пересування секцій розрахунки для середньої частини лави без великих помилок можуть бути приведені до плоскої задачі. У цьому випадку вони зводяться до розрахунків, певною мірою аналогічними розрахунками індивідуальних кріплень при безпосередній покрівлі III, IV і V типів.

Розрахунки слід проводити для максимальної ширини привибійного простору

$$l_n = l_{n.з} + l_k, \quad (6.1)$$

де $l_{n.з}$ – ширина привибійного простору, м

l_k – ширина захвату комбайна, м

Розглянемо як приклад розрахунок кріплення для покрівлі IV типу. Розрахункова схема представлена на рис 6.2.

Рівняння рівноваги має вигляд

$$M_q - M_{r1} - M_{r2} = 0 \quad (6.2)$$

або

$$\frac{q_n (l_n - l_{ш})^2}{2} = R_1 (l_n - l_{ш}) + R_2 l_n \quad (6.3)$$

Крок обвалення визначається за формулою:

$$l_{ш} = \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\sigma_{нч.шз} \sum h_n^2}{q_n}} \quad (6.4)$$

де $\sigma_{нч.шз}$ – середня межа міцності порід безпосередньої покрівлі на згинання, кН/м²; $\sum h_n$ – сумарна потужність шарів безпосередньої покрівлі, м

Навантаження на кріплення визначається з умови

$$q_n = \gamma_{ср} \sum h_n, \text{ кН} \quad (6.5)$$

Очевидно що

$$\frac{R_1}{\Delta h_1} = \frac{R_2}{\Delta h_2} \quad (6.6)$$

де Δh_1 і Δh_2 – опускання покрівлі над передніми й задніми стояками, м

Рівняння сумісності деформацій стояків

$$\frac{\Delta h_1}{l_n - b_2} = \frac{\Delta h_2}{l_n} \quad (6.7)$$

Остаточо отримаємо вираз для розрахунку реакції задніх стояків кріплення

$$R_2 = \frac{q_n(l_n + l_w)^2 l_n a_2}{2[l_n^2 + (l_n - b_2)^2]} + P_R, \text{кН} \quad (6.8)$$

де P_R – початковий розпір кріплення, кН

a_2 – відстань між стійками в рядах, м;

b_2 – відстань між рядами, м

Аналогічно для передніх стійок кріплення

$$R_1 = \frac{q_n(l_n + l_w)^2 (l_n - b_2) a_2}{2[l_n^2 + (l_n - b_2)^2]} + P_R, \text{кН} \quad (6.9)$$

Абсолютний максимум реакцій кріплення буде за умови $R_l = 0$, тоді

$$R_{\max} = \frac{q_n(l_n + l_w)^2 a_2}{2l_n}, \text{кН} \quad (6.10)$$

Максимальна просадка кріплення під тиском осадки основної покрівлі визначається за формулою

$$\Delta h_R = h_c \frac{l_n}{L_1}, \text{м} \quad (6.11)$$

де L_1 – крок обвалення основної покрівлі, м

h_c – межа вільного опускання основної покрівлі

$$h_c = (0,1 \div 0,4) m_{\theta}, \quad (6.12)$$

Для наочності уявлення, основна покрівля являє собою консольну плиту на пружній основі. Ця плита позаду забою несе навантаження q_1 , яка визначається власною вагою основної покрівлі та вагою пачки шарів, жорсткість кожного з яких менше жорсткості основної покрівлі. Зазвичай потужність цієї пачки легко визначається з геологічного розрізу, як відстань до вищерозміщеної породи-моста.

Пружною основою, допустимо вважати пласт, що розробляється попереду вибою, так як в місці налягання основної покрівлі на безпосередню, остання не має вільного краю і отже, її деформації малі порівняно з деформаціями пласта.

Крок обвалення основної покрівлі L_1 розраховується, використовуючи вираз

$$L_1 = \sqrt{\frac{q_{\text{зак}}}{q_1} \left(\frac{h_{oc}^2}{6} \frac{\sigma_{\text{пч.уз}}}{q_{\text{зак}}} - \psi \right)} \quad (6.13)$$

де h_{oc} – потужність основної покрівлі, м;

в розрахунках можна приймати $q_1 = 0,2 \div 0,4 q_{\text{зак}}$ і $q_{\text{зак}} \geq \lambda_{cp} H$,

$q_{\text{зак}}$ – величина яка закріплює навантаження, кН;

H – глибина ведення гірничих робіт, м;

ψ – параметр, який визначається досвідченим шляхом,

в розрахунках приймається $\psi = 0,5 + 0,7 m^2$.

Задача

Для заданих умов відпрацювання пласта (табл. 6.1) встановити крок обвалення основної покрівлі L_1 . Визначити реакцію передніх R_1 і задніх R_2 гідравлічних стояків, максимальну реакцію R_{max} і просідання Δh механізованого кріплення під тиском опускань основної покрівлі.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для вирішення практичної роботи №6

№ Вар.	Безпосередня покрівля			Основна покрівля		параметри кріплення			Ширина привибійного простору $l_{пз}$, м	Ширина захвату комбайна l_k , м	Виймальна потужність пласта m_6 , м	Глибина ведення гірничих робіт H , м
	Тип порід			Межа міцності на вигин $\sigma_{лцшз}$, кН/м ²	пісковик	a_2 , м	b_2 , м	P_r , кН				
	глинистий сланець	алевроліт	аргіліт									
	600	2100	800									
				Потужність, м								
1	1,1	2,6	1,2	20	20	1,0	1,0				400	
2	1,2	2,1	1,3	22	22	0,9	1,1				500	
3	1,3	2,4	1,2	24	24	0,8	1,2	150	0,8	1,05	600	
4	1,1	2,2	1,4	26	26	1,0	1,0				700	
5	1,2	2,3	1,4	28	28	0,9	1,1				800	
6	1,0	2,4	1,3	20	20	0,8	1,2				400	
7	1,2	2,5	1,2	22	22	1,0	1,0				500	
8	1,4	2,6	1,5	24	24	0,9	1,1	200	0,63	1,15	600	
9	1,0	2,7	1,2	26	26	0,8	1,2				700	
10	1,0	2,5	1,4	28	28	1,0	1,0				800	
11	1,1	2,3	1,3	20	20	0,9	1,1				400	
12	1,2	2,2	1,2	22	22	0,8	1,2				500	
13	1,3	2,4	1,5	24	24	1,0	1,0	250	0,8	1,25	600	
14	1,4	2,5	1,2	26	26	0,9	1,1				700	
15	1,2	2,4	1,4	28	28	0,8	1,2				800	

3. ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Оцінювання рівня засвоєння матеріалу здійснюється через коефіцієнт засвоєння:

$$K_3 = \frac{N}{P},$$

де N – правильно виконанні істотні операції рішення (відповіді),
 P – загальні кількість визначених істотних операцій.

Критерії визначення оцінок:

- «відмінно» $K_3 > 0,9$;
- «добре» $K_3 = 0,8 \dots 0,9$;
- «задовільно» $K_3 = 0,7 \dots 0,8$;
- «незадовільно» $K_3 < 0,7$.

При остаточній оцінці результатів виконання завдання необхідно врахувати здатність студента:

- Диференціювати, інтегрувати та уніфікувати знання;
- Застосовувати правила, методи, принципи, закони у конкретних ситуаціях;
- Інтерпретувати схеми, графіки, діаграми;
- Аналізувати і оцінювати факти, події та прогнозувати очікувані результати від прийнятих рішень;
- Викладати матеріали на папері логічно, послідовно, з дотриманням вимог чинних стандартів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баклашов И.В. Механические процессы в породных массивах: учеб. / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
2. Шашенко А.Н. Механика горных пород: учеб. / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новий друк, 2004. – 400 с.
3. Взаимодействие грузонесущих элементов крепежной системы выемочных выработок «массив – рама – анкер» / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: Літограф, 2015. – 214 с.
4. Комбинированные анкерные системы для повторного использования горных выработок / [Бондаренко В.В., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2017. – 188 с.
5. Геомеханика нагружения и расчет параметров крепежной и охранной систем подготовительных выработок шахт Западного Донбасса / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – 228 с.
6. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Черватюк В.Г.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 236 с.
7. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов: учебник / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
8. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород: учеб. / Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
9. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б.М. Усаченко. – К.: Наукова думка, 1979. – 136 с.
10. Четверик М.С. Теория сдвижения массива горных пород и управление деформационными процессами при подземной выемке угля / М.С. Четверик, Е.В. Андрощук. – Д.: РИА «Днепр-VAL», 2004. – 148 с.
11. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.
12. Свойства горных пород и методы их определения / [Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф.]. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
13. Бондаренко В.И. Теория управления состоянием массива горных пород: учеб. / Бондаренко В.И., Ильяшов М.А., Руденко Н.К. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 320 с.

Бондаренко Володимир Ілліч
Ковалевська Ірина Анатоліївна
Симанович Геннадій Анатолійович
Малашкевич Дмитро Сергійович
Прокопенко Костянтин Миколайович

МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД

**Методичні рекомендації
для виконання практичних робіт з дисципліни
студентами спеціальності 184 Гірництво**

Видано в редакції авторів.

Підписано до друку 13.11.2020. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 2,7.
Обл.-вид. арк. 2,7. Тираж 50 пр. Зам. №

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.