

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 1

## **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»  
Протокол від 22 травня 2024 р. № 02

### **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Механіка гірських порід»**

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 184 «Гірництво»  
освітньо-професійна програма «Гірництво»  
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва  
кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

Рекомендовано на засіданні кафедри  
гірничих технологій та будівництва  
ім. проф. Бакка М.Т.  
02 квітня 2024 р., протокол № 04

#### **Розробники:**

к.т.н., доц. кафедри гірничих технологій та будівництва  
ім. проф. Бакка М.Т. БАШИНСЬКИЙ Сергій  
асистент кафедри гірничих технологій та будівництва  
ім. проф. Бакка М.Т. ПІСКУН Ігор

Житомир  
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 2

УДК 622.023

Методичні рекомендації для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Механіка гірських порід» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 184 «Гірництво» освітньо-професійна програма «Гірництво».

Укладачі – к.т.н., доц. БАШИНСЬКИЙ Сергій, асистент ПІСКУН Ігор – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. – 58 с.

Рецензенти:

д.геол.н., проф. кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. ПІДВИСОЦЬКИЙ Віктор

к.т.н., доц. кафедри маркшейдерії КОТЕНКО Володимир

Відповідальний за випуск: завідувач кафедрою гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. – к.т.н. БАШИНСЬКИЙ Сергій

Методичні рекомендації розроблені для здобувачів вищої освіти спеціальності 184 «Гірництво» освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання і містять детальні вказівки для проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Механіка гірських порід».

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 3

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота №1 Напруженість та деформація в гірських породах .....	5
Практична робота №2 Побудова паспорту міцності гірської породи.....	13
Практична робота №3 Реологічні властивості гірських порід .....	20
Практична робота №4 Визначення початкового поля напружень .....	25
Практична робота №5 Оцінка напруженого стану гірських порід в масиві навколо гірничої виробки.....	30
Практична робота №6 Розрахунок коефіцієнта запасу стійкості методом складання алгебраїчних сил.....	33
Практична робота №7 Визначення поверхні ковзання відкосу за допомогою геометричних побудов.....	41
Практична робота №8 Визначення положення поверхні ковзання в ізотропному відкосі та розрахунок коефіцієнта запасу стійкості методом дотичних напружень.....	47
Вимоги до оформлення практичних робіт .....	53
Список рекомендованої літератури .....	58

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 4

## Вступ

**Метою навчальної дисципліни** є формування у студентів знань про основні гіпотези та закономірності геомеханіки. Задачі дисципліни – навчити студентів експериментально визначати механічні властивості гірничих порід, моделювати та прогнозувати геомеханічні процеси в породних масивах.

**Завдання вивчення навчальної дисципліни.** Здобуті знання повинні використовуватися при вивченні інших спеціальних дисциплін, а також при проектуванні гірничих робіт на рівні курсового та дипломного проектування. Вміння та навички визначати механічні властивості гірських порід, моделювати та прогнозувати геомеханічні процеси повинні використовуватися у майбутній інженерній та науковій діяльності.

Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних **компетентностей**, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 184 «Гірництво».

### **Загальні компетентності:**

**ЗК4.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**ЗК5.** Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

**ЗК6.** Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

### **Фахові компетентності:**

**ФК3.** Здатність використовувати теорії, принципи, методи і поняття фундаментальних і загальноінженерних наук для професійної підготовки та діяльності за фахом.

**ФК8.** Здатність аналізувати режими експлуатації об'єктів гірництва та виконувати оптимізацію їх функціонування.

**ФК9.** Здатність оцінювати стан і технічну готовність устаткування ланок гірничих підприємств за критеріями забезпечення заданої продуктивності та безпеки експлуатації.

**ФК11.** Здатність забезпечувати протиаварійний захист ланок гірничих підприємств та екологічну безпеку проведення гірничих та інших робіт.

**ФК14.** Здатність обирати і розраховувати раціональні схеми переробки та збагачення корисних копалин.

### **Програмні результати навчання:**

**ПРН7.** Знати геологічні процеси та базові закономірності формування гірських порід.

**ПРН14.** Аналізувати режими експлуатації об'єктів та устаткування гірництва та виконувати оптимізацію їх функціонування.

**ПРН17.** Застосовувати спеціалізовані пакети прикладних програм під час проектних та експлуатаційних розрахунків параметрів технологічних процесів гірничих підприємств.

**ПРН20.** астосовувати математичні моделі для визначення технологічних параметрів і показників гірничих підприємств.

**ПРН21.** Визначати ефективність використання систем і технологій гірництва за функціональними, технологічними, економічними, антропологічними критеріями.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58/5

## Практична робота №1 Напруженість та деформація в гірських породах

**Завдання.** Зразок гірської породи висотою  $h$  і діаметром  $d$  при статичних дослідженнях підлягав стиску до руйнування при навантаженні  $P_{кр}$ . В процесі досліджень фіксувалися поперечні  $\Delta d$  і повздовжні  $\Delta h$  деформації, які відповідають навантаженню  $P$  при його зміні від 0 до  $P_{кр}$ .

Визначити модуль поздовжньої пружності  $E$  на лінійній ділянці кривої навантаження; коефіцієнт Пуассона  $\mu$ ; модуль зсуву  $G$ ; модуль об'ємного (всебічного) стиску  $K$ ; модуль одностороннього стиску  $M$ ; граничний січний модуль деформації (модуль пластичності)  $E_{пл}$ ; модуль повної деформації  $E_{деф}$ ; коефіцієнт пластичності  $K_{пл}$ ; питому пружну енергію, яка накопичена в зразку  $W_{пр}$ ; питому роботу руйнування породи  $W$ . Вихідні дані до виконання практичної роботи наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Вихідні дані

Варіант	Висота зразка, мм	Діаметр зразка, мм	Руйнівне навантаження $P_{кр}, Н$
1	75	37	28000
2	73	36	27000
3	72	35	26000
4	71	34	25000
5	70	33	24000
6	67	32	23000
7	66	31	22000
8	65	30	21000
9	64	39	29000
10	63	38	30000
11	62	40	25000
12	61	37	24000
13	60	36	23000
14	59	35	22000
15	57	32	27000
16	55	31	28000
17	74	30	29000
18	68	35	30000
19	73	38	28000
20	71	32	27000
21	70	35	26000
22	69	33	24000
23	67	30	23000
24	65	31	21000
25	64	36	29000

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 6

Таблиця 1.2

## Величина деформації залежно від навантаження

Ступінь навантаження	Зусилля стиску, частка від $P_{кр}$	Абсолютна поздовжня деформація $\Delta h \cdot 10^{-3}$ , мм	Абсолютна поперечна деформація $\Delta d \cdot 10^{-3}$ , мм
0	0,0	0,0	0,0
1	0,1	3,5	0,4
2	0,2	7,0	0,8
3	0,3	10,5	1,2
4	0,4	14,0	1,6
5	0,5	17,5	2,0
6	0,6	21,5	2,4
7	0,7	25,9	2,8
8	0,8	31,5	5,2
9	0,9	40,5	10,3

## Порядок виконання роботи

1. Визначаємо площу поперечного перерізу зразка:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ мм}^2 \quad (1.1)$$

де  $d$  – діаметр зразка, мм.

2. Визначаємо межу міцності породи на стиск:

$$\sigma_{ст} = \frac{P_{кр}}{S}, \text{ МПа} \quad (1.2)$$

де  $P_{кр}$  – зусилля, при якому зразок породи зруйнувався, Н;  
 $S$  – площа поперечного перерізу зразка,  $\text{мм}^2$ .

3. За даними таблиці 1.2 (Величина деформації залежно від навантаження) розраховуємо:

- напруження стиску ( $\sigma_{ст}$ ):

$$\sigma_{ст} = \frac{P_{кр}}{S} \quad (1.3)$$

- відносні поздовжні деформації ( $\varepsilon_{пов}$ ):

$$\varepsilon_{пов} = \frac{\Delta h}{h} \quad (1.4)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 7

- відносні поперечні деформації ( $\varepsilon_{non}$ ):

$$\varepsilon_{\text{поп}} = \frac{\Delta d}{d} \quad (1.5)$$

Даний розрахунок потрібно виконати для кожного ступеню навантаження із відповідним значенням  $P$ ,  $h$ ,  $d$ . Результат розрахунку рекомендується звести до спільної таблиці (таблиця 1.3).

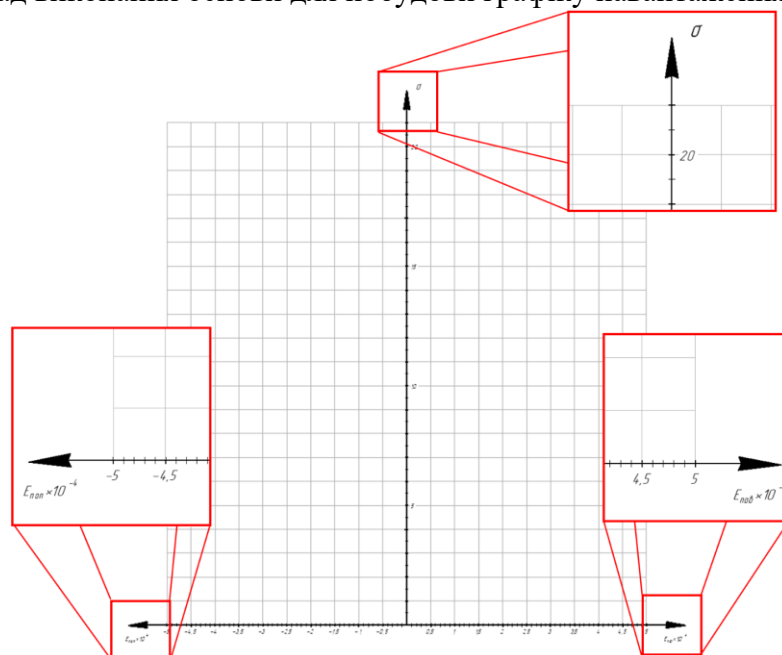
Таблиця 1.3

Приклад подання результатів розрахунку напруження стиску та відносних повздовжньої та поперечної деформацій

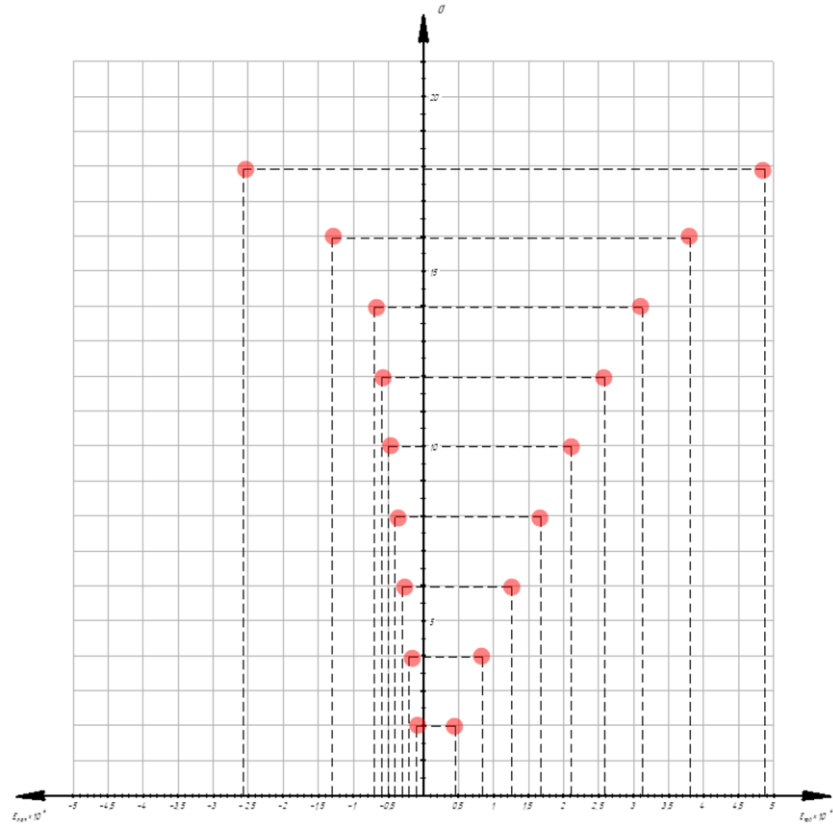
Ступінь навантаження	Напруження стиску, МПа	Відносна повздовжня деформація $\varepsilon_{\text{пов}} \cdot 10^{-4}$ , мм	Відносна поперечна деформація $\varepsilon_{\text{пов}} \varepsilon_{\text{поп}} \cdot 10^{-4}$ , мм
0	0,00	0,00	0,00
1	1,99	0,46	-0,10
2	3,98	0,84	-0,20
3	5,97	1,27	-0,30
4	7,96	1,69	-0,40
5	9,95	2,11	-0,50
6	11,94	2,59	-0,60
7	13,93	3,12	-0,70
8	15,92	3,80	-1,30
9	17,91	4,88	-2,58

4. За результатами розрахунків будуюмо графік навантаження гірської породи, який показує залежність відносних деформацій зразка від напружень. Повздовжні та поперечні деформації мають різні знаки, тому графіки їх навантаження розташовують в різних квадратах.

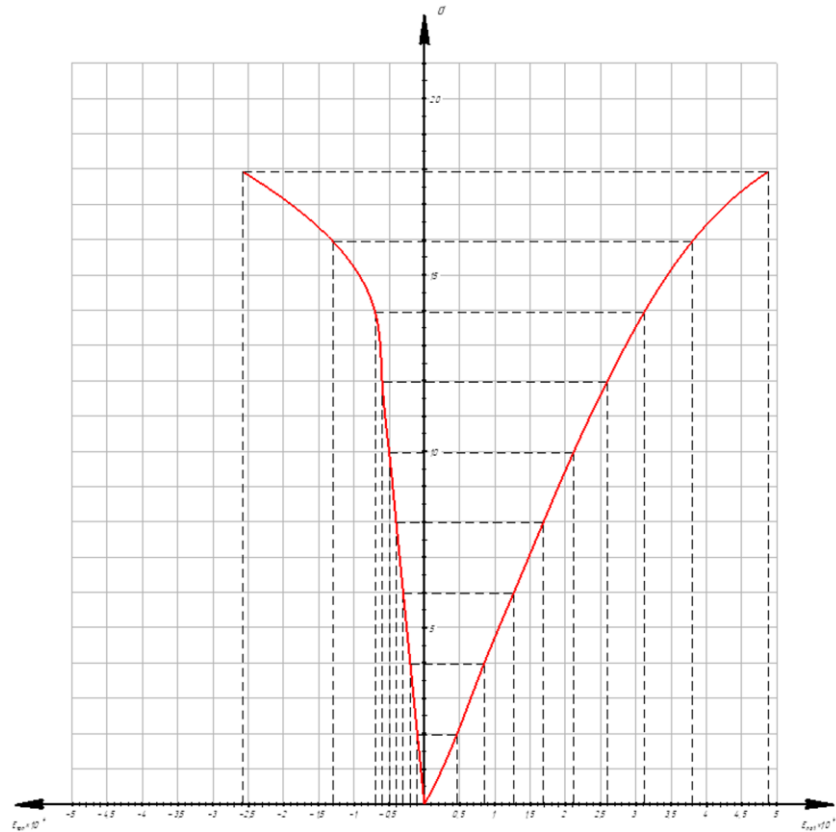
4.1. Приклад виконання основи для побудови графіку навантаження гірської породи.



4.2. Приклад відображення результатів розрахунків (табл. 1.3).



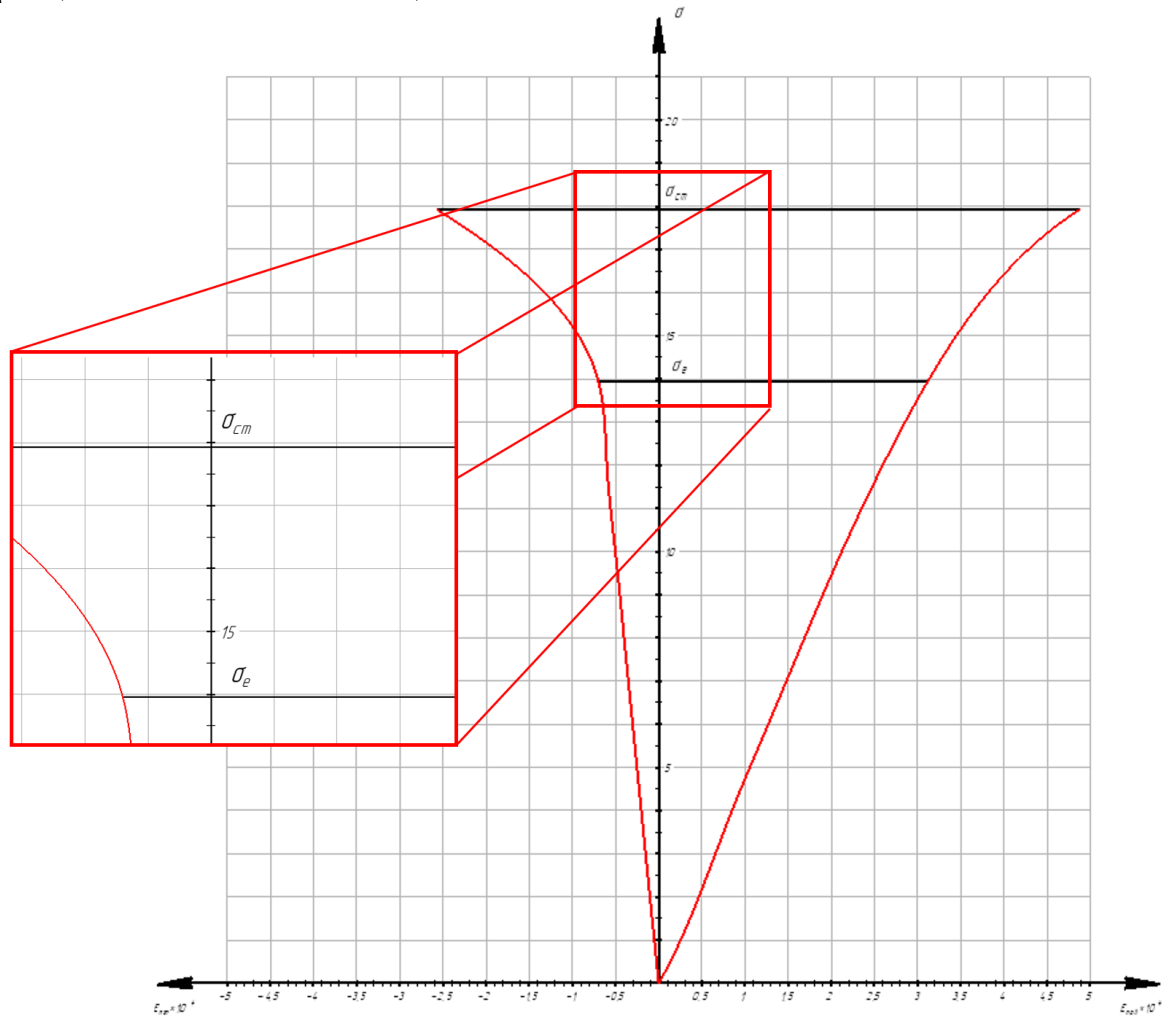
4.3. Приклад побудови кривих деформації.



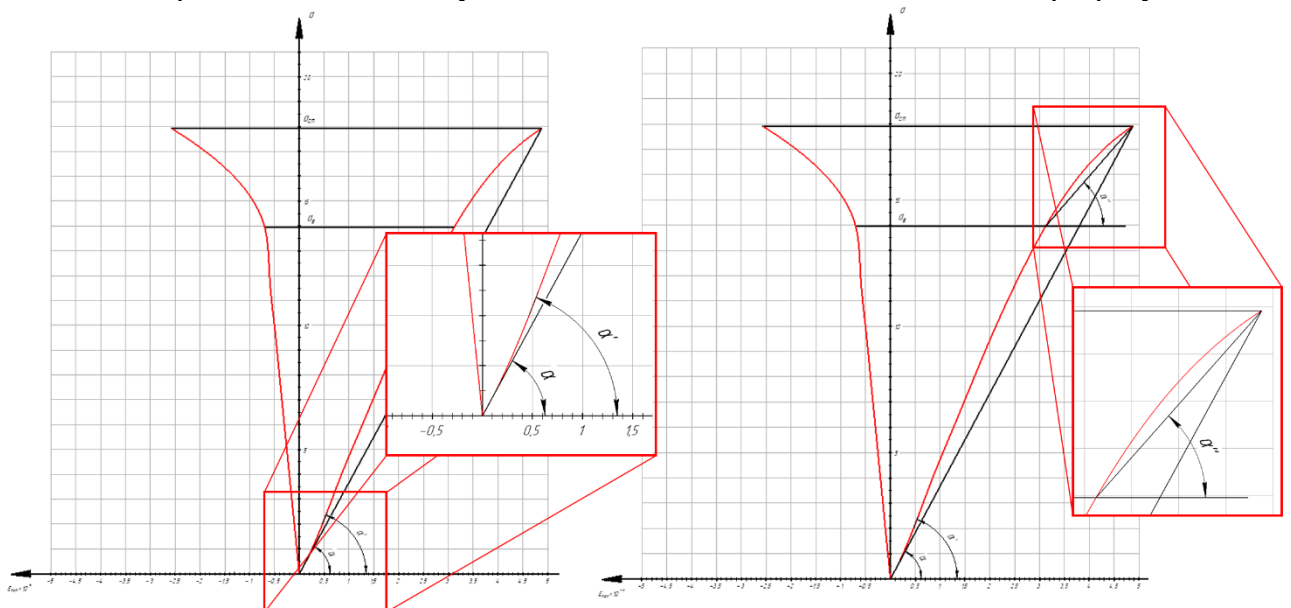


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 9

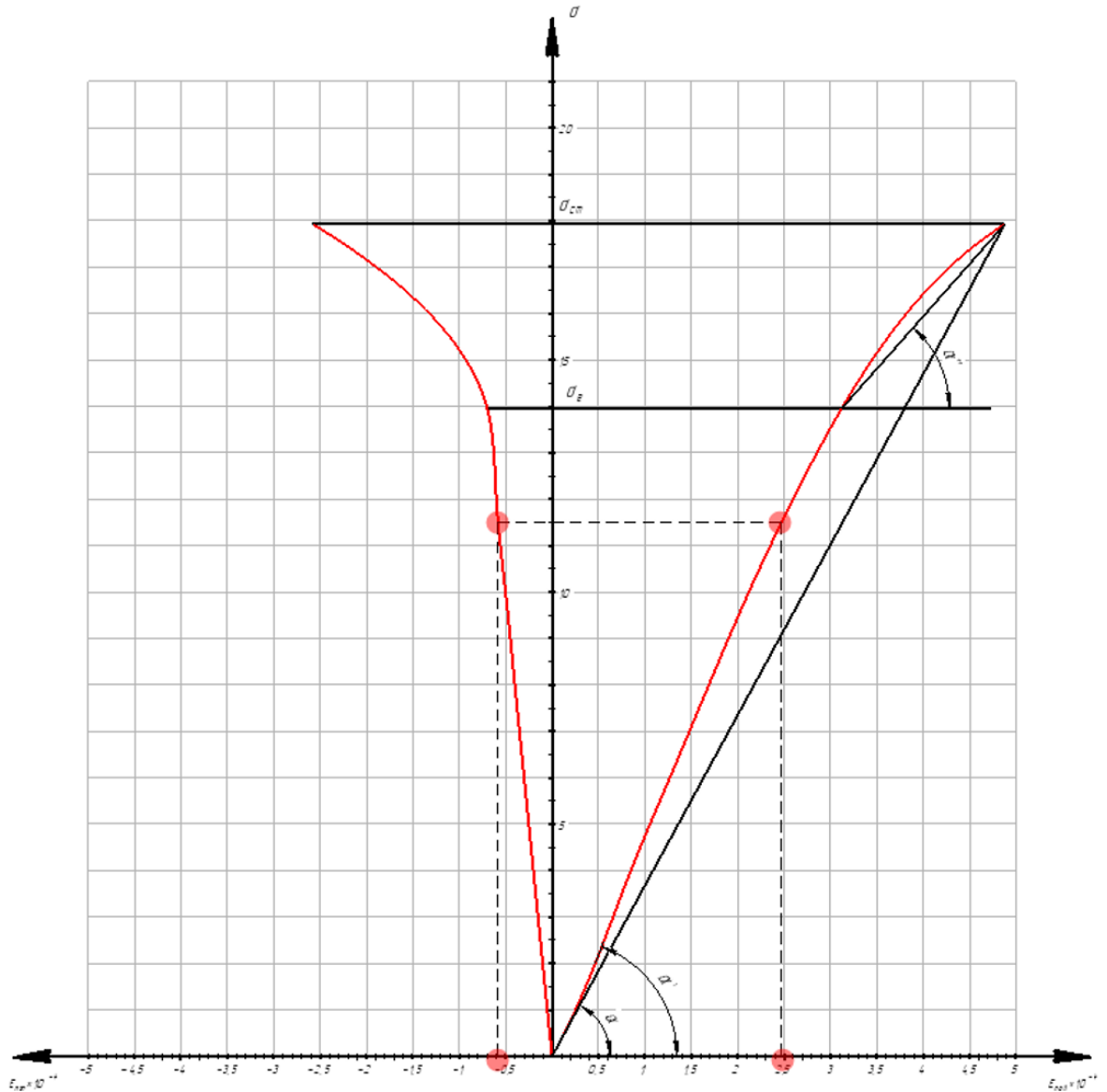
4.4. Приклад визначення межі переходу зразка від пружних до пластичних деформацій та позначення межі міцності.



4.5. Приклад визначення кутів необхідних для виконання подальших розрахунків.



4.6. Приклад визначення коефіцієнта Пуассона та кінцевий вигляд графіку навантаження гірської породи.



5. Після виконання графіку в окрему таблицю (табл. 1.4) вносимо дані визначені за його допомогою.

Таблиця 1.4

Приклад оформлення визначених за допомогою графіку навантаження гірської породи

Межа пружності, МПа	Відносна деформація, мм·10 <sup>4</sup>		Виміряні значення кутів		
	ε <sub>пов</sub>	ε <sub>поп</sub>	α	α'	α''
σ <sub>ε</sub> 13,93	2,48	0,59	61°24'	69°30'	48°29'

6. Модуль Юнга визначається як відношення напруження до відносної деформації:

$$E = \operatorname{tga}', \text{ МПа} \quad (1.6)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 11

7. Коефіцієнт Пуассона визначається як відношення відносних поперечних і поздовжніх деформацій:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{поп}}}{\varepsilon_{\text{пов}}} \quad (1.7)$$

де  $\varepsilon_{\text{поп}}$  і  $\varepsilon_{\text{пов}}$  – відносні поперечна і поздовжня деформації, які обираємо в межах лінійної ділянки графіка для довільної точки.

8. Модуль зсуву буде рівний:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \text{ МПа} \quad (1.8)$$

де  $E$  – модуль пружності, МПа;  
 $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

9. Модуль об'ємного (всєбічного) стиску:

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}, \text{ МПа} \quad (1.9)$$

10. Модуль одностороннього стиску:

$$M = \frac{E(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}, \text{ МПа} \quad (1.10)$$

11. Кутовий коефіцієнт прямої  $O\sigma_{\text{ст}}$  чисельно дорівнює модулю повної деформації, яка враховує пружну і пластичну деформацію:

$$E_{\text{деф}} = tga, \text{ МПа} \quad (1.11)$$

12. Граничний січний модуль (модуль пластичності):

$$E_{\text{пл}} = tga'', \text{ МПа} \quad (1.12)$$

13. Коефіцієнт пластичності:

$$K_{\text{пл}} = 2 \frac{E}{E_{\text{деф}}} - 1 \quad (1.13)$$

де  $E$  – модуль пружності породи, Па;  
 $E_{\text{деф}}$  – модуль повної деформації, Па.

14. Питома пружна енергія деформації:

$$W_{\text{пр}} = \frac{\sigma_E^2}{2E}, \text{ Дж/м}^2 \quad (1.14)$$

де  $\sigma_E$  – межа пружності породи, МПа;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 12

$E$  – модуль пружності породи, МПа.

15. Повна питома робота руйнування:

$$W = \frac{\sigma_{ст}^2}{2E}, \text{ Дж/м}^2 \quad (1.15)$$

де  $\sigma_{ст}$  – межа міцності породи на стиск, МПа.

### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. За яких умов, відповідно до умови задачі, настає руйнування зразка?
2. Які деформації виникають при стиску зразка та як вони позначаються?
3. В яких одиницях вимірюється навантаження прикладене до зразка?
4. Яку форму має досліджуваний зразок та як визначається його площа?
5. Що таке межа міцності на стиск і як її розрахувати?
6. Що показує графік навантаження гірської породи?
7. Що таке модуль Юнга?
8. Що таке коефіцієнт Пуассона?
9. Що таке модуль зсуву?
10. Що таке модуль об'ємного стиску?
11. Що таке коефіцієнт пластичності?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 13

## Практична робота №2 Побудова паспорту міцності гірської породи

**Завдання.** Відповідно до вихідних даних, наведених і таблиці 2.1, а саме: межі міцності на одновісний стиск  $\sigma_{ст}$  і одновісний розтяг  $\sigma_p$  побудувати паспорт міцності гірської породи з лінійною апроксимацією і на основі єдиного рівняння визначити зчеплення  $C$ , кут внутрішнього тертя  $\varphi$ , критичне значення дотичних напружень при заданому напруженні  $\sigma$  і зробити висновок про міцність породи в цьому стані.

Таблиця 2.1

Варіант	Вихідні дані		
	Межа міцності на стиск $\sigma_{ст}$ , МПа	Межа міцності на розтяг $\sigma_p$ , МПа	Нормальне напруження $\sigma$ , МПа
1	45	3,5	100
2	55	5,0	110
3	60	6,0	120
4	65	7,0	130
5	70	5,5	140
6	75	8,0	150
7	80	6,5	160
8	85	9,0	170
9	90	10,0	180
10	95	12,0	190
11	100	14,0	200
12	110	10,5	210
13	120	16,0	220
14	125	18,0	230
15	130	11,0	240
16	135	13,0	250
17	140	15,0	260
18	145	17,0	270
19	150	19,0	280
20	115	20,0	200
21	145	17,5	280
22	100	12,0	180
23	110	14,0	210
24	70	7,0	120
25	60	5,5	130

### Порядок виконання роботи

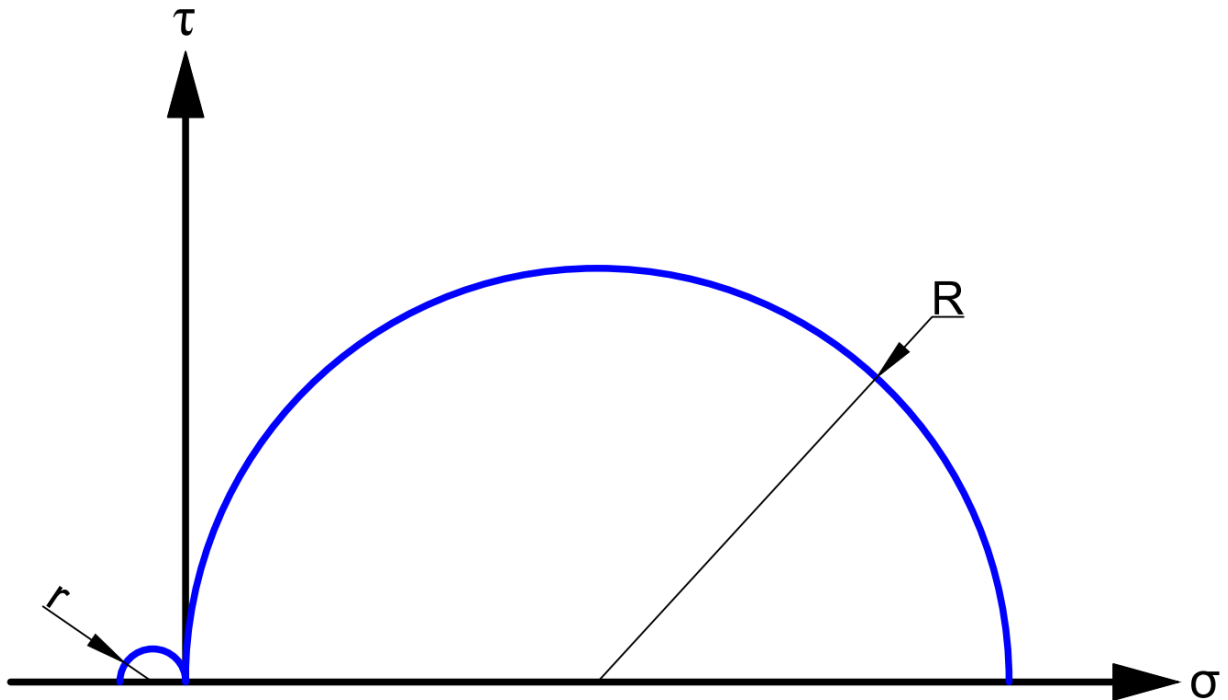
1. Лінійна апроксимація паспорту міцності гірської породи.
- 1.1. Радіусами  $r$  і  $R$  у вибраному масштабі проводимо кола.

$$r = \frac{\sigma_p}{2} \quad (2.1)$$

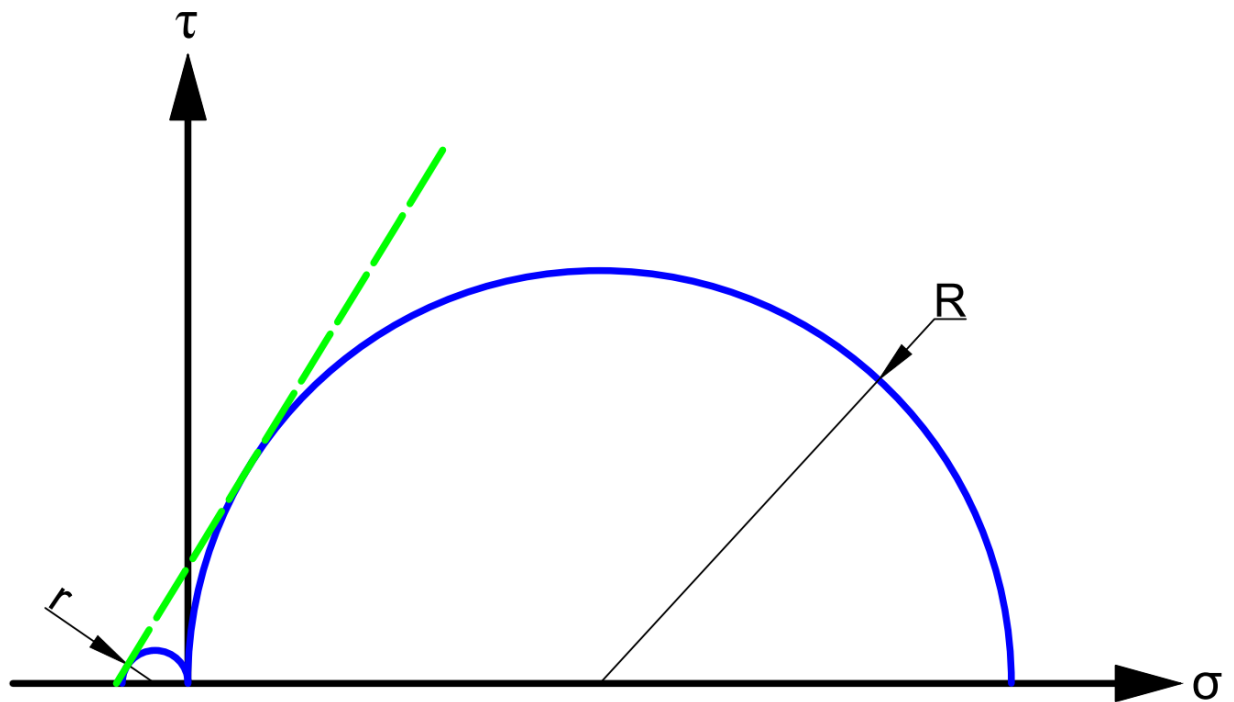
$$R = \frac{\sigma_{ст}}{2} \quad (2.2)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 14

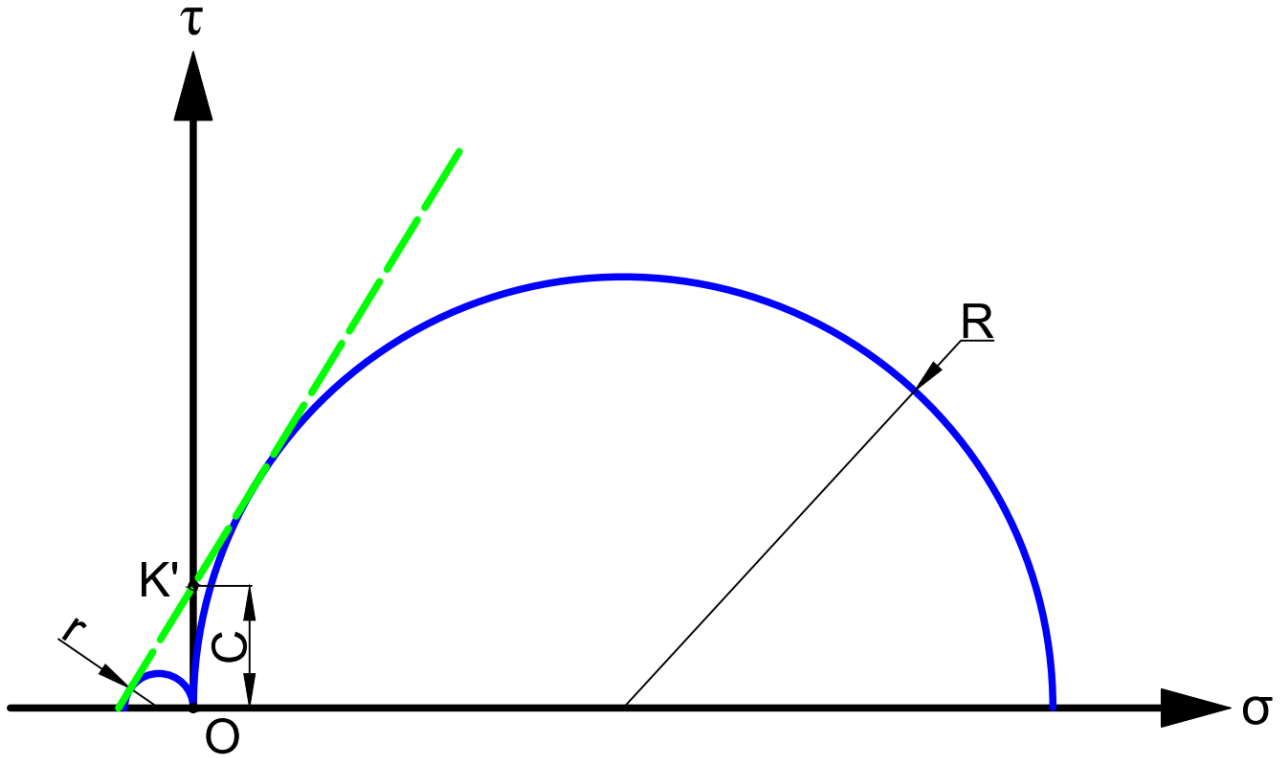
При цьому коло радіусом  $r$  буде розташоване в зоні від'ємних, а коло радіусом  $R$  – в зоні додатніх значень напружень  $\sigma$ .



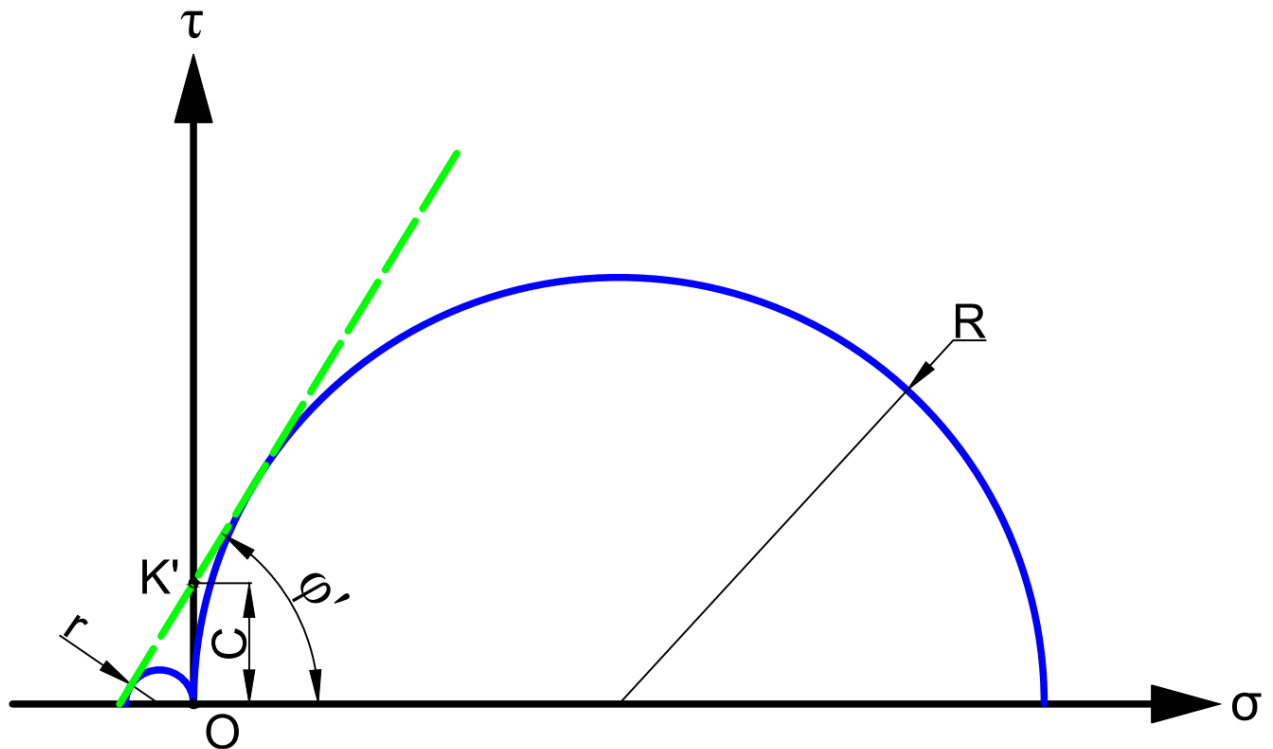
1.2. Проводимо дотичну до цих кіл.



1.3. Перетин дотичної з віссю  $\tau$  утворить відрізок  $OK'$ , який в масштабі буде визначати величину зчеплення  $S$ .



1.4. Кут нахилу  $\phi'$  дотичної до горизонталі дорівнює куту внутрішнього тертя породи.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 16

1.5. Тангенс кута  $\varphi'$  буде відповідати значенню коефіцієнта внутрішнього тертя.

2. Побудова паспорту міцності гірської породи виконується за допомогою єдиного рівняння огибаючої кривої:

$$\tau = \tau_{max} \left( \frac{x^2}{x^2 + a^2} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (2.3)$$

де  $\tau_{max}$  – максимальний опір породи зсуву, МПа;

$x = \sigma + \sigma_{в.р.}$  – сума нормальних напружень  $\sigma$  при одновісному стиску і граничному тривісному всебічному розтязі  $\sigma_{в.р.}$ , МПа.;

$a$  – параметр форми огиальної, МПа.

2.1. Виразимо радіуси кругів Мора через параметри форми  $a$  і безрозмірні радіуси  $q_1$  і  $q_2$ , відповідно для розтягу і стиску:

$$r = \frac{\sigma_p}{2} = q_1 \cdot a_p, \text{ МПа} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{\sigma_{ст}}{2} = q_2 \cdot a_{ст}, \text{ МПа} \quad (2.5)$$

2.2. Безрозмірні радіуси  $q_1$  і  $q_2$  визначимо з табл. 2.2. за співвідношенням:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{R}{r} = \frac{\sigma_{ст}}{\sigma_p} \quad (2.6)$$

де  $\sigma_{ст}$  – межа міцності породи на стиск згідно завдання, МПа;

$\sigma_p$  – межа міцності породи на розтяг згідно завдання, МПа.

Одночасно з табл. 2.2. за попередньо визначеним співвідношенням  $q_1/q_2$  вибираємо значення параметра  $k_1+q_1$ , де  $k_1$  – безрозмірна координата центру круга тривісного розтягу.

Таблиця 2.2

№ з/п	$k_1+q_1$	$q_1$	$q_2$	$q_2/q_1$
1	1,258	0,479	0,666	1,39
2	1,133	0,443	0,661	1,49
3	0,992	0,398	0,654	1,64
4	0,829	0,342	0,636	1,86
5	0,636	0,271	0,597	2,21
6	0,403	0,179	0,531	2,97
7	0,3477	0,1567	0,508	3,25
8	0,2880	0,1310	0,473	3,61
9	0,2565	0,1175	0,453	3,85
10	0,2218	0,1028	0,421	4,10
11	0,1855	0,0875	0,387	4,48
12	0,1446	0,0685	0,344	5,04
13	0,0960	0,0460	0,279	6,08
14	0,0848	0,0408	0,258	6,32



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 17

№ з/п	$k_1+q_1$	$q_1$	$q_2$	$q_2/q_1$
15	0,0716	0,0346	0,229	6,62
16	0,0646	0,0313	0,215	6,86
17	0,0566	0,0275	0,202	7,35
18	0,0484	0,0236	0,185	7,85
19	0,0388	0,0190	0,166	8,74
20	0,0267	0,0132	0,132	10,0
21	0,0255	0,0119	0,127	10,7
22	0,0223	0,0110	0,123	11,2
23	0,0205	0,0101	0,115	11,4
24	0,0185	0,0091	0,107	11,8
25	0,0163	0,0080	0,100	12,5
26	0,0141	0,0069	0,091	13,2
27	0,0114	0,0056	0,081	14,5
28	0,0080	0,0039	0,068	17,4
29	0,0071	0,0035	0,0634	18,3
30	0,0062	0,0030	0,0586	19,5
31	0,0057	0,0028	0,0557	19,9
32	0,0051	0,0025	0,0537	21,5
33	0,0045	0,0023	0,0500	22,7
34	0,0037	0,0018	0,0453	25,2
35	0,0026	0,0013	0,0373	29,6
36	0,00227	0,00113	0,0362	32,0
37	0,001963	0,00098	0,0329	33,6
38	0,001603	0,00080	0,0291	36,4
39	0,001131	0,00056	0,0241	43,5
40	0,000801	0,00040	0,0203	50,7

2.3. Знаходимо безрозмірні параметри по розтягу і стиску, МПа:

$$a_p = \frac{\sigma_p}{2q_1} \quad (2.7)$$

$$a_{ст} = \frac{\sigma_{ст}}{2q_2} \quad (2.8)$$

2.4. Визначаємо середнє значення безрозмірного параметра:

$$a = \frac{a_p + a_{ст}}{2}, \text{ МПа} \quad (2.9)$$

2.5. Обраховуємо максимальний опір породи зсуву:

$$\tau_{max} = 0,73 \cdot a, \text{ МПа} \quad (2.10)$$

2.6. Визначаємо тимчасовий опір породи всебічному рівномірному розтягу (точку перетину огинаючої з віссю абсцис):

$$\sigma_{тч} = a(k_1 + q_1), \text{ МПа} \quad (2.11)$$

2.7. Визначаємо параметр  $\chi$  – нормальне напруження відносно перетину огинаючої з віссю абсцис:

$$\chi = \sigma_{\text{тчс}} + \sigma, \text{ МПа} \quad (2.12)$$

де  $\sigma$  – поточне значення нормального напруження стиску, МПа.

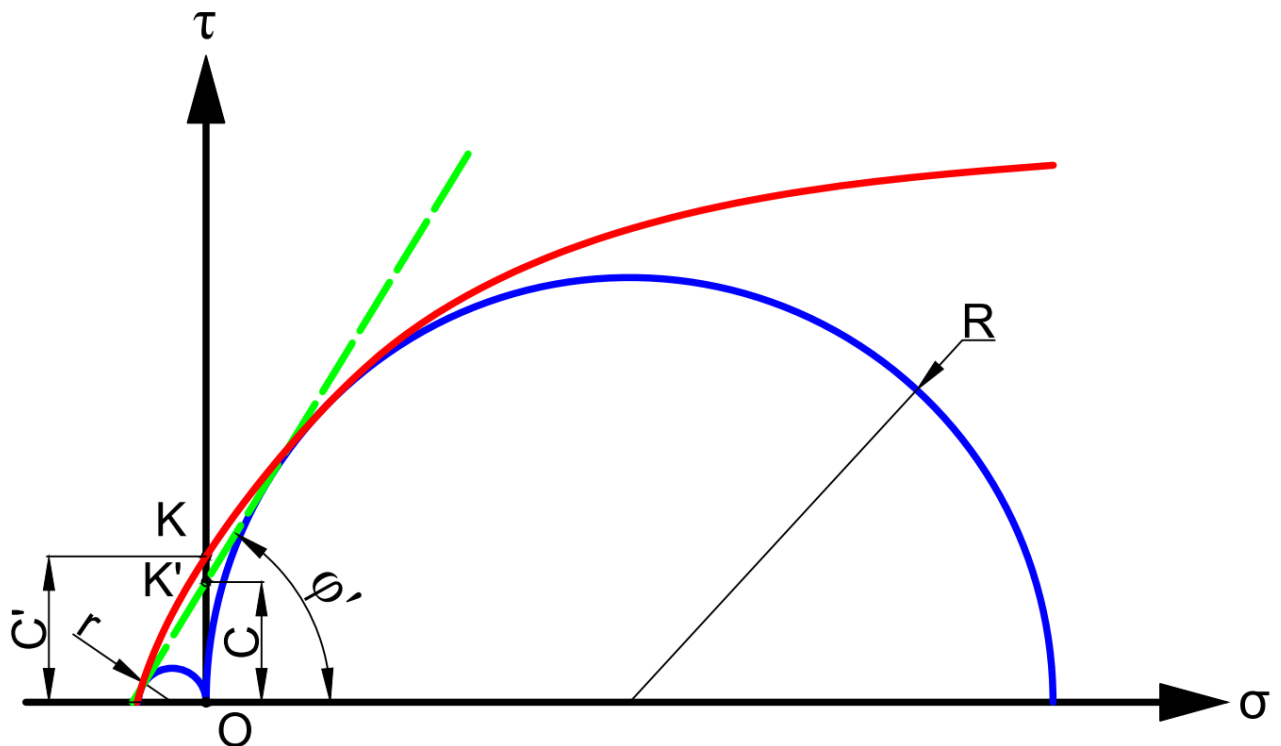
2.8. Задаємо параметру  $\sigma$  десять різних значень і підставляємо їх в рівняння огинаючої кривої, при цьому обраховуємо відповідні значення  $\tau$ . Результат розрахунку координат для побудови огинаючої кривої звести до спільної таблиці (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Координати для побудови огинаючої кривої

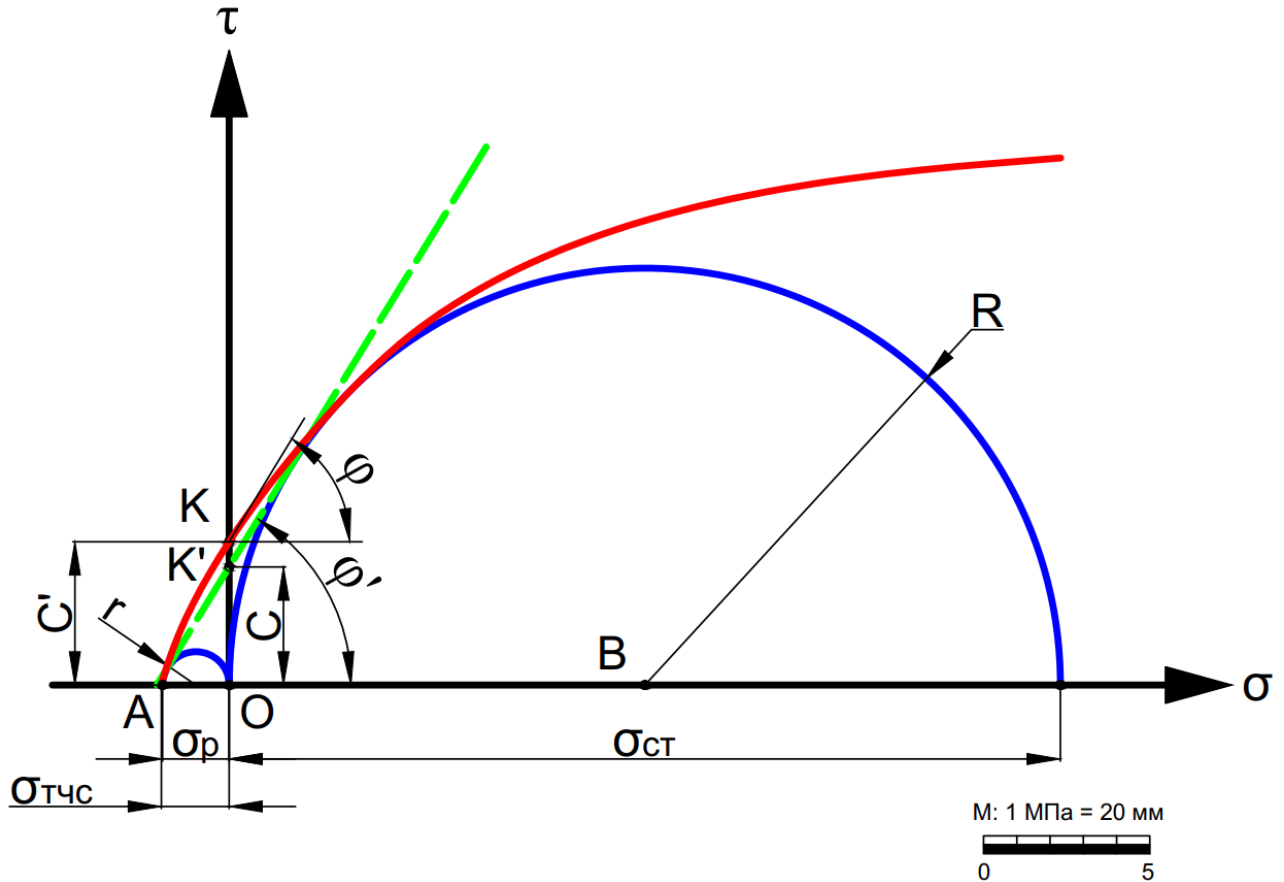
$\sigma$										
$\tau$										

2.9. Будуємо графічне зображення паспорта міцності. Визначаємо величину  $\tau_{c=0}$ , яка відповідатиме відрізьку КО та буде визначати зчеплення С’.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 19

2.10. Для визначення кута внутрішнього тертя проводимо дотичну до огинаючої кривої в т. К її перетину з віссю ординат ( $\sigma=0$ ). Кут  $\phi$ , який утворює ця дотична з горизонтальною лінією, чисельно дорівнює куту внутрішнього тертя.



### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. Які відомості можна отримати при аналізі кіл Мора?
2. В якій системі координат будуються кола Мора?
3. Які величини відкладають по осі абсцис та ординат при побудові кіл Мора?
4. Що характеризуватимуть координати точки відкладеної на колі Мора?
5. Якими вважаються (за знаком) та як відображаються стискаючі напруження при побудові паспорту міцності?
6. Якими вважаються (за знаком) та як відображаються стискаючі напруження при побудові паспорту міцності?
7. Що зображають на графіку міцності?
8. Що таке кут внутрішнього тертя?
9. Пояснити, як за паспортом міцності визначається кут внутрішнього тертя?
10. Що таке зчеплення?
11. Пояснити, як за паспортом міцності визначити величину зчеплення?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 20

### Практична робота №3 Реологічні властивості гірських порід

**Завдання 3.1.** При миттєвому прикладенні навантаження межа міцності гірської породи складає  $\sigma_{ст}$ . При випробовуванні в режимі повзучості при напруженні  $\sigma_{тр}$  зразки тієї ж породи руйнувалися через  $t$  діб.

Побудувати для досліджуваної породи криву тривалої міцності та визначити, яке напруження вона здатна витримати через 200 діб використовуючи для цього вихідні дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вихідні дані до виконання завдання 3.1

Варіант	Межа міцності при короткочасному навантаженні $\sigma_{ст}$ , МПа	Тривала міцність $\sigma_{тр}$ , МПа	Тривалість дії навантаження до руйнування $t$ , діб
1	60,9	51,7	56
2	51,0	51,9	55
3	50,7	47,8	78
4	55,3	49,8	96
5	51,6	48,4	96
6	56,4	48,3	114
7	56,2	49,0	55
8	59,9	52,6	84
9	53,8	52,2	106
10	58,2	52,4	113
11	50,1	52,7	118
12	52,5	50,4	82
13	56,4	50,2	67
14	50,5	48,5	114
15	53,6	49,2	71
16	54,1	47,2	47
17	50,6	51,1	57
18	57,3	47,6	44
19	57,8	49,8	56
20	56,7	49,0	33
21	56,5	51,3	40
22	58,5	50,2	120
23	55,1	49,7	61
24	58,9	50,4	67
25	57,1	52,3	71

#### Порядок виконання роботи

3.1.1. Залежність тривалої міцності від часу дії навантаження описується рівнянням:

$$\sigma_{тр} = \sigma_{ст} \cdot \ln \frac{B \cdot e}{B + t}, \text{ МПа} \quad (3.1)$$

де  $\sigma_{ст}$  – межа міцності при короткочасному навантаженні, МПа;

$B$  – константа, яка характеризує стійкість породи;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 21

$e$  – основа натуральних логарифмів,  $e=2,71828$ ;  
 $t$  – час дії навантаження, с.

3.1.2. Визначимо параметр  $B$ , прийнявши  $t$  згідно завдання:

$$B = \frac{t \cdot e^{\frac{\sigma_{тр}}{\sigma_{ст}}}}{e - e^{\frac{\sigma_{тр}}{\sigma_{ст}}}} \quad (3.2)$$

При розрахунку час дії навантаження  $t$  підставляємо в секундах.

3.1.3. За допомогою формули 3.1 розраховуємо  $\sigma_{тр}$  що найменше для 10 значень  $t$  (найбільше з яких має відповідати тривалості 200 діб за умовою задачі) і наводимо результати розрахунків у вигляді таблиці.

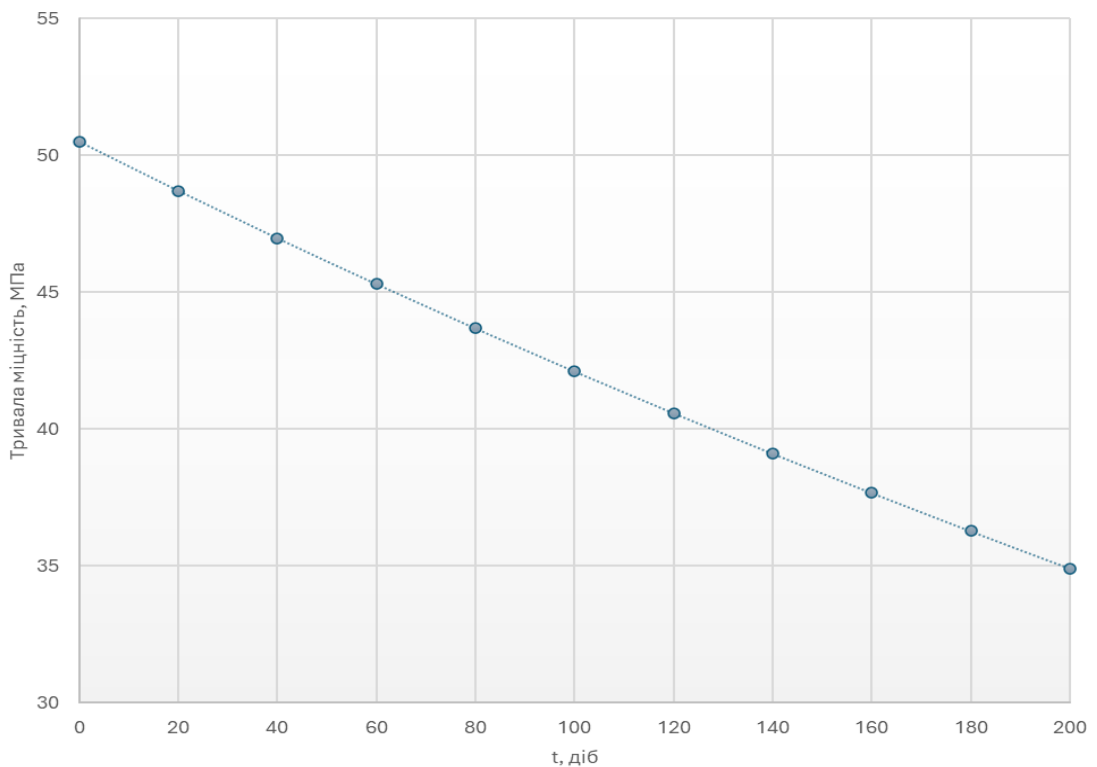
Таблиця 3.2

Приклад таблиці зведених результатів розрахунку

Час, діб	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Час, с · 10 <sup>5</sup>											
Тривала міцність $\sigma_{тр}$ , МПа											

3.1.4. За результатами розрахунків зведених до спільної таблиці (табл. 3.2) будемо графік тривалої міцності  $\sigma_{тр}=f(t)$ .

Графік залежності тривалої міцності від часу



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 22

**Завдання 3.2.** В момент часу  $t = 0$  прикладення навантаження до зразка гірської породи зумовило в ньому виникнення напруження  $\sigma_0$ . Виміри напружень в момент часу  $t_1$  при витримуванні зразка в умовах деформування показали зменшення напружень порівняно з початковими на  $\Delta\sigma$ . Визначити період релаксації гірської породи і за результатами розрахунків побудувати графічну залежність релаксації напружень відповідно до вихідних даних наведених в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Вихідні дані до виконання завдання 3.2

Варіант	Напруження $\sigma_0$ , МПа	Час релаксації $t_1 \cdot 10^5$ , с	Зменшення напруження $\Delta\sigma$ , МПа
1	53	22	7
2	60	29	17
3	133	18	18
4	90	8	24
5	97	15	4
6	116	24	10
7	124	5	24
8	83	12	5
9	105	24	20
10	82	22	5
11	138	20	4
12	115	5	20
13	89	11	25
14	62	30	6
15	106	28	13
16	50	12	17
17	114	24	21
18	137	7	17
19	58	29	16
20	135	18	21
21	122	30	15
22	82	14	2
23	62	11	23
24	50	26	20
25	88	6	23

### Порядок виконання роботи

3.2.1. Визначаємо період релаксації:

$$T_p = \frac{t_1}{\ln \sigma_0 - \ln \sigma} \quad (3.3)$$

де  $t_1$  – час релаксації, с;

$\sigma_0$  – початкові напруження, МПа;

$\sigma = \sigma_0 - \Delta\sigma$  – кінцеві напруження, МПа.

3.2.2. Розраховуємо зміну напружень в часі  $\sigma$  для що найменше 10 значень  $t$  і зводимо їх до спільної таблиці (табл. 3.4):

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-t}{T}}, \text{ МПа} \quad (3.4)$$

де  $\sigma_0$  – початкове напруження в зразку породи, МПа;  
 $e$  – основа натуральних логарифмів;  
 $t$  – час дії навантаження, с;  
 $T$  – період релаксації.

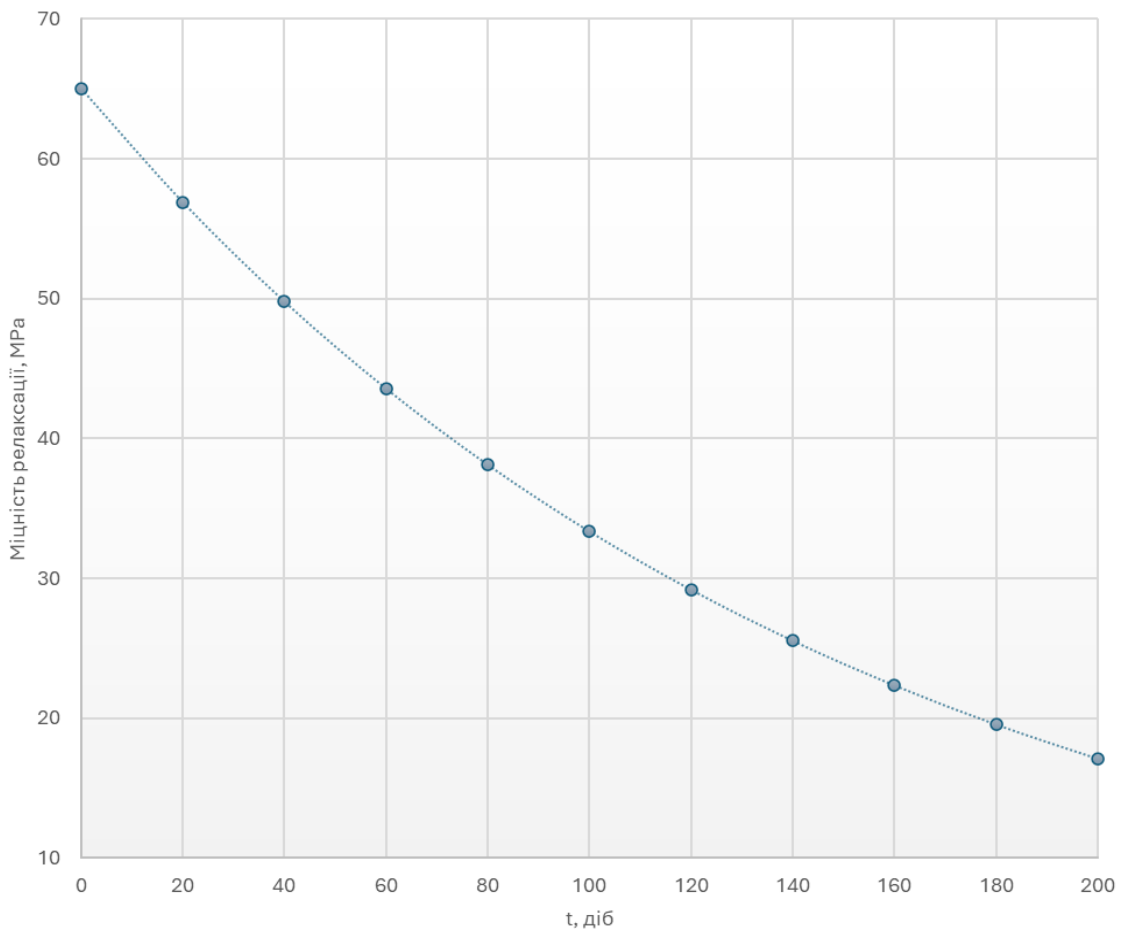
Таблиця 3.4

Приклад таблиці зведених результатів розрахунку

Час $t$ , діб	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Час, $c \cdot 10^5$										
Напруження $\sigma$ , МПа										

3.2.3. За одержаними координатами точок ( $\sigma$ ,  $t$ ) будемо криву релаксації породи.

Крива релаксації



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 24

### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. Які властивості називають реологічними?
2. Що таке повзучість?
3. Що таке релаксація?
4. Що таке період релаксації та як він визначається?
5. Що таке коефіцієнт релаксації та як він визначається?
6. З яких стадій складається процес деформування гірських порід в часі?
7. Додаванням яких складових визначається повна деформація гірської породи?
8. Що таке тривала міцність?
9. Що характеризує таке поняття як «розвантаження породи»?
10. Яка величина позначається символом «e», та яке значення вона має?
11. Яка залежність спостерігається при побудові графіку залежності тривалої міцності від часу?
12. Яка залежність спостерігається при побудові графіку кривої релаксації?



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 25

## Практична робота №4 Визначення початкового поля напружень

**Завдання.** Визначити компоненти початкового поля напружень в масиві гірських порід при проектуванні горизонтальної гірничої виробки круглого перерізу та побудувати епюри початкових напружень. Дані для розрахунків наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Вихідні дані

Варіант	Глибина проведення гірничої виробки Н, м	Питома вага породи $\gamma_0$ , МН/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт Пуассона, $\mu$
1	200	0,024	0,36
2	215	0,029	0,35
3	230	0,028	0,3
4	245	0,027	0,32
5	250	0,026	0,34
6	260	0,025	0,36
7	275	0,024	0,3
8	280	0,029	0,38
9	290	0,028	0,33
10	300	0,027	0,34
11	310	0,026	0,36
12	320	0,025	0,32
13	330	0,024	0,34
14	340	0,025	0,32
15	350	0,026	0,38
16	360	0,029	0,35
17	370	0,028	0,3
18	380	0,027	0,36
19	390	0,026	0,32
20	400	0,025	0,3
21	395	0,026	0,32
1	385	0,027	0,36
2	375	0,028	0,3
1	365	0,029	0,35
2	355	0,026	0,38

### Порядок виконання роботи

1. Визначаємо компоненти початкового поля напружень:

$$\sigma_z = \gamma_0 \cdot H \quad (4.1)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_z \quad (4.2)$$

де  $\gamma_0$  – питома вага порід, МН/м<sup>3</sup>;  
 $H$  – глибина проведення гірничої виробки, м;  
 $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 26

Таким чином, вертикальна складова напружень  $\sigma_z$  має бути більшою, ніж горизонтальні  $\sigma_x$  і  $\sigma_y$ .

2. Оскільки заплановано проведення виробки круглого перерізу, то отримані в п.1 компоненти початкового поля напружень по контуру перерізу майбутньої виробки необхідно представити в полярній системі координат.

Розрахунки проводимо за наступними формулами:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta \quad (4.3)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta \quad (4.4)$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\theta \quad (4.5)$$

де  $\sigma_1 = \sigma_z$ ,  $\sigma_2 = \sigma_x = \sigma_y$  – головні напруження, МПа;  
 $\theta$  – кут нахилу головних вісей до вісей  $x$ ,  $y$ .

3. Розрахунки (4.3-4.5) виконуємо для десяти значень кута нахилу головних вісей до вісей  $x$  та  $y$ , результати розрахунку вносимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

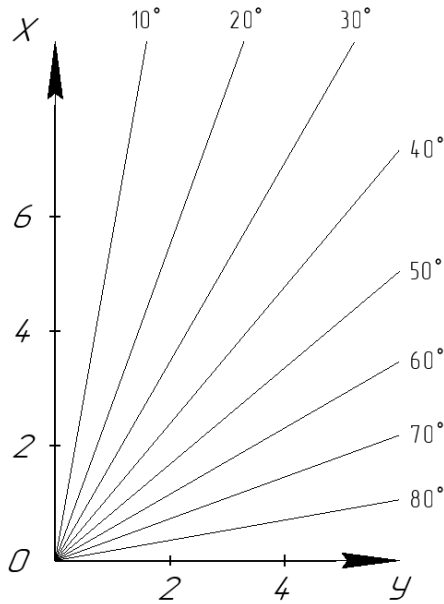
Приклад оформлення зведених результатів розрахованих напружень  $\sigma_r$ ,  $\tau_{r\theta}$ ,  $\sigma_\theta$

№ з/п	$\theta$ , градус	$2\theta$ , градус	$\cos 2\theta$	$\sin 2\theta$	Напруження, МПа		
					$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\tau_{r\theta}$
1	0	0					
2	10	20					
3	20	40					
4	30	60					
5	40	80					
6	50	100					
7	60	120					
8	70	140					
9	80	160					
10	90	180					

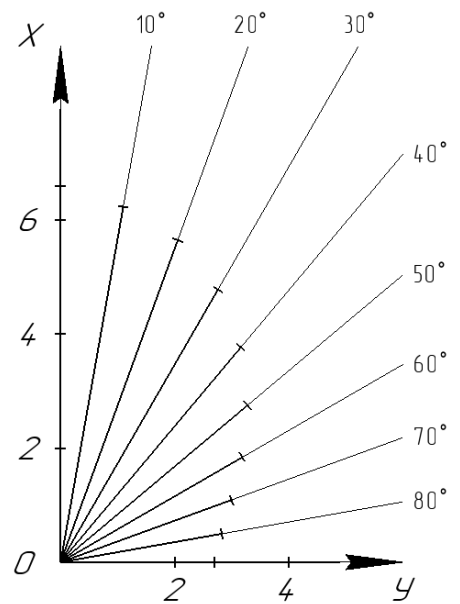
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 27

4. За результатами розрахунків будемо епюри радіальних  $\sigma_r$ , дотичних  $\tau_{\theta}$  і нормальних тангенціальних  $\sigma_{\theta}$  напружень.

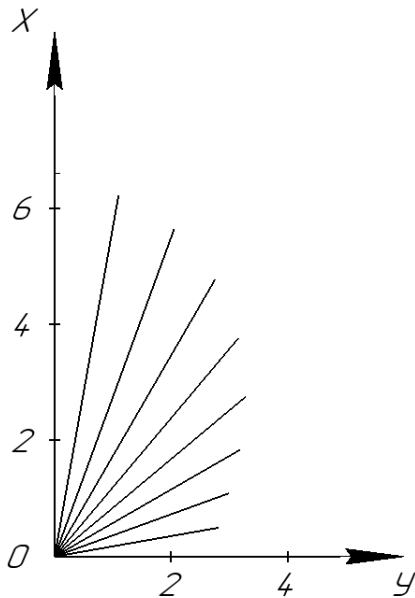
*Епюра радіальних напружень*



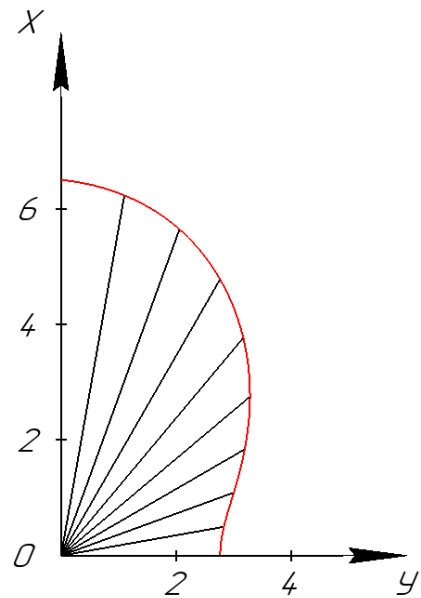
*Епюра радіальних напружень*



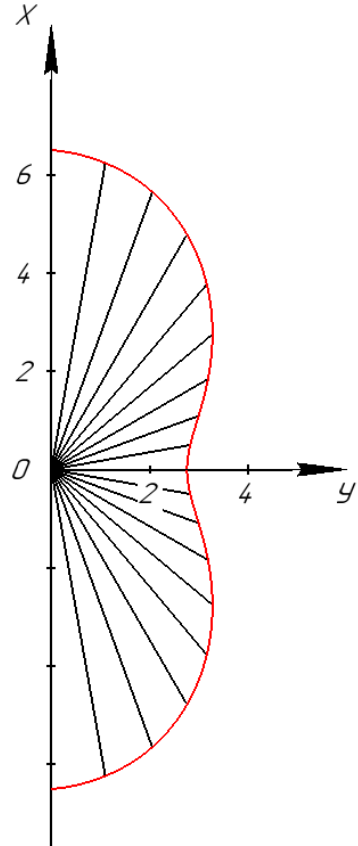
*Епюра радіальних напружень*



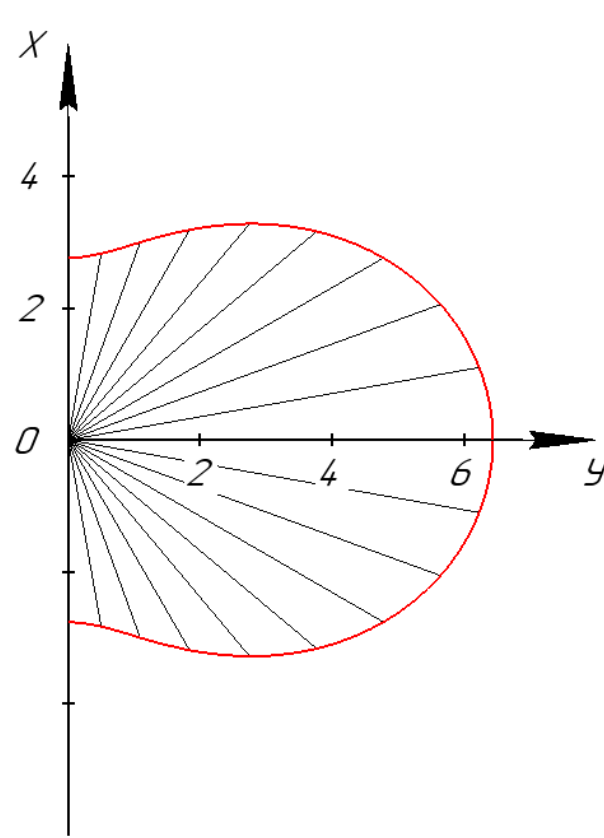
*Епюра радіальних напружень*



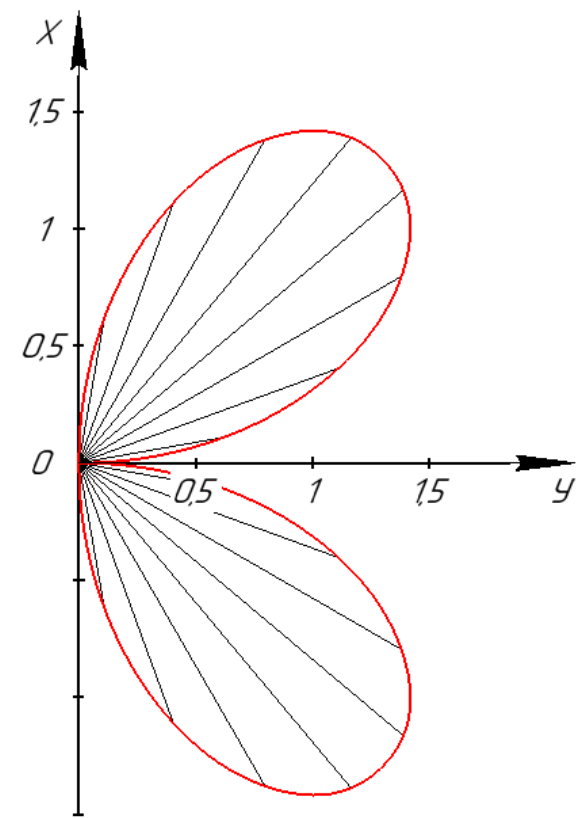
Епюра радіальних напружень



Епюра нормальних тангенціальних напружень



Епюра дотичних напружень



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 29

### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. В якому стані знаходяться гірські породи розташовані на певній глибині?
2. Чим характеризується всебічний стиск?
3. Які площадки при розгляді навантажень, що діють на масив називаються головними?
4. Чим визначається напружений стан масиву?
5. Що належить до компонентів початкового поля напружень?
6. Чому буде дорівнювати вертикальна складова напружень?
7. Що позначається як «тета»?
8. Назвати характерні особливості епюри радіальних напружень.
9. Назвати характерні особливості епюри тангенціальних напружень.
10. Назвати характерні особливості епюри дотичних напружень.



3. За результатами розрахунків підготувати таблиці для побудови графіків зміни напружень відповідно до тих, що наведені нижче.

$\theta=0^\circ$	r/R	$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\tau_{r\theta}$
	1			
	1,5			
	2			
	2,5			
	3			
	4			

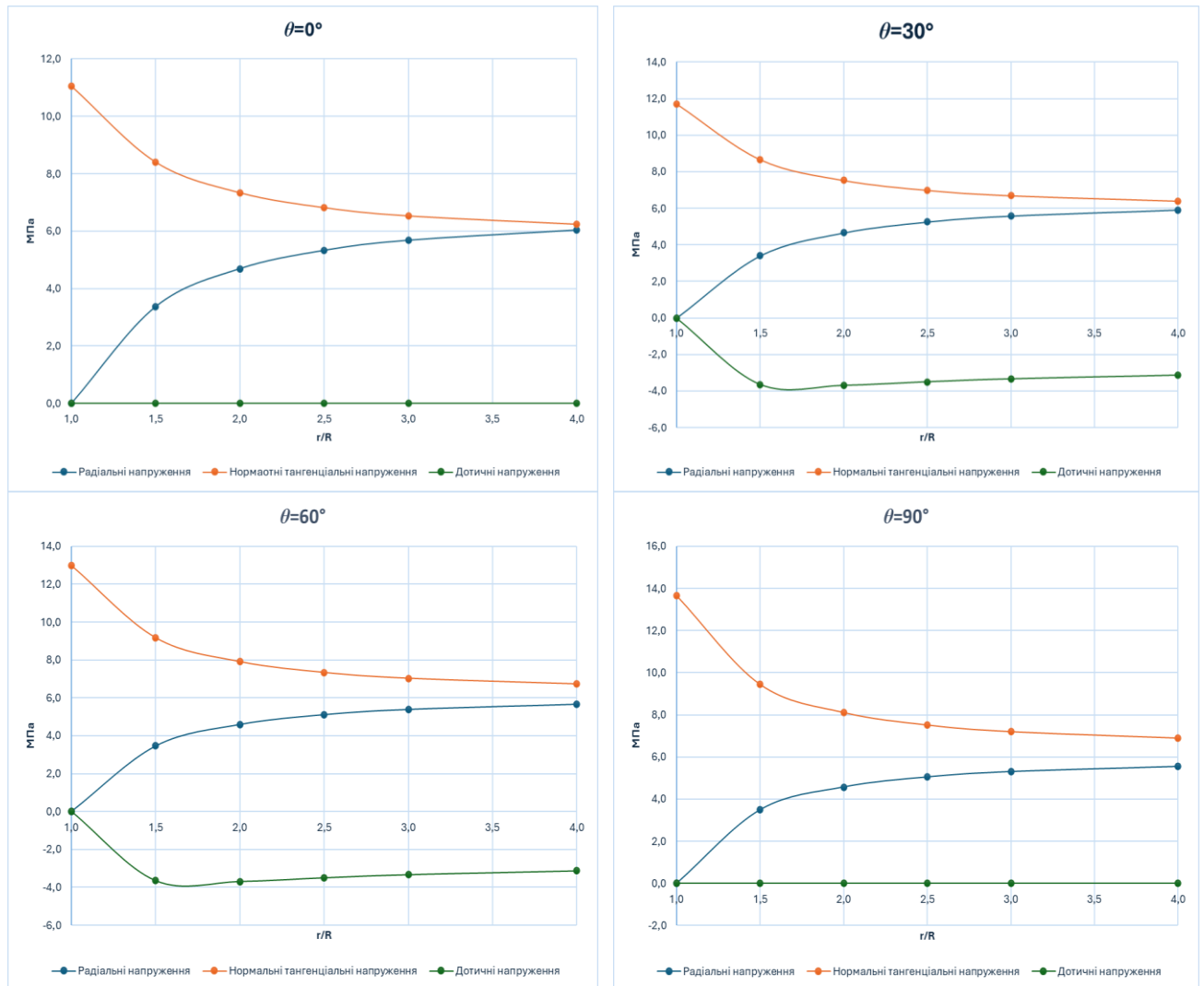
$\theta=30^\circ$	r/R	$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\tau_{r\theta}$
	1			
	1,5			
	2			
	2,5			
	3			
	4			

$\theta=60^\circ$	r/R	$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\tau_{r\theta}$
	1			
	1,5			
	2			
	2,5			
	3			
	4			

$\theta=90^\circ$	r/R	$\sigma_r$	$\sigma_\theta$	$\tau_{r\theta}$
	1			
	1,5			
	2			
	2,5			
	3			
	4			

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 32

4. Побудувати графіки зміни радіальних  $\sigma_r$ , нормальних тангенціальних  $\sigma_\theta$  і дотичних  $\tau_{r\theta}$  напружень залежно від відношень  $r/R$  для умов  $\theta=0^\circ$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $\theta=60^\circ$  і  $\theta=90^\circ$ .



### Перелік питань для захисту практичної роботи

- Від чого залежить характер утвореного навколо виробки поля напружень?
- Що належить до першої групи факторів, які впливають на поле напружень, утворене навколо виробки?
- Що належить до другої групи факторів, які впливають на поле напружень, утворене навколо виробки?
- Що належить до третьої групи факторів, які впливають на поле напружень, утворене навколо виробки?
- Що належить до четвертої групи факторів, які впливають на поле напружень, утворене навколо виробки?
- При визначенні напруженого стану порід навколо виробки використовується плоска задача, а не об'ємна, тобто розглядаються лише ті навантаження, які виникають навколо поперечного перерізу виробки, чому?
- Під дією яких сил знаходяться площини, що розглядаються (аналізуються) під час визначення параметрів напруженого стану порід навколо гірничої виробки?
- Що описують за допомогою задач пружної рівноваги?



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 33

## Практична робота №6

### Розрахунок коефіцієнта запасу стійкості методом складання алгебраїчних сил

**Завдання.** Згідно вихідних даних наведених в таблиці 6.1. якими характеризуються параметри відкосу борта кар'єру і фізико-механічних характеристик порід, що його складають, виконати розрахунок коефіцієнта запасу стійкості методом алгебраїчного складання сил.

Таблиця 6.1

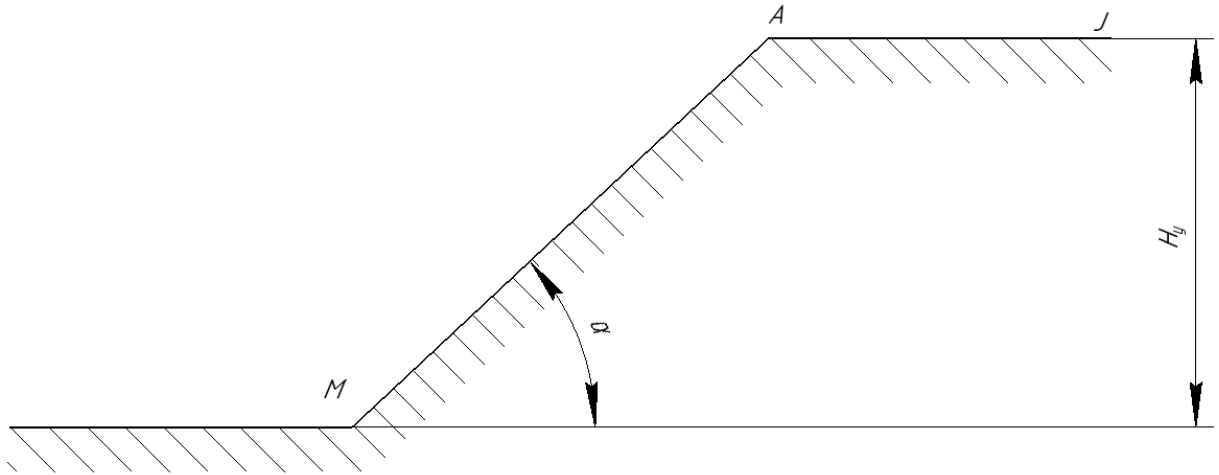
Вихідні дані

Варіант	Висота відкосу Н, м	Кут нахилу відкосу $\alpha^\circ$	Кут внутрішнього тертя породи $\varphi^\circ$	Зчеплення породи С, МПа	Об'ємна вага породи $\gamma$ , МН/м <sup>3</sup>
1	78	42	28	0,079	0,022
2	55	45	32	0,037	0,017
3	53	44	23	0,032	0,021
4	49	43	30	0,026	0,017
5	72	39	22	0,02	0,024
6	42	44	31	0,034	0,02
7	61	37	27	0,045	0,024
8	51	43	32	0,035	0,017
9	40	40	30	0,031	0,024
10	43	47	20	0,036	0,023
11	50	35	28	0,028	0,018
12	60	38	23	0,04	0,024
13	50	48	31	0,024	0,02
14	42	36	21	0,047	0,02
15	56	35	31	0,04	0,02
16	47	44	29	0,034	0,018
17	44	46	31	0,03	0,019
18	48	42	30	0,031	0,024
19	43	41	20	0,036	0,023
20	45	37	28	0,028	0,018
21	62	39	23	0,04	0,024
22	52	45	31	0,024	0,02
23	41	37	21	0,047	0,02
24	56	39	31	0,04	0,02
25	46	44	29	0,034	0,018

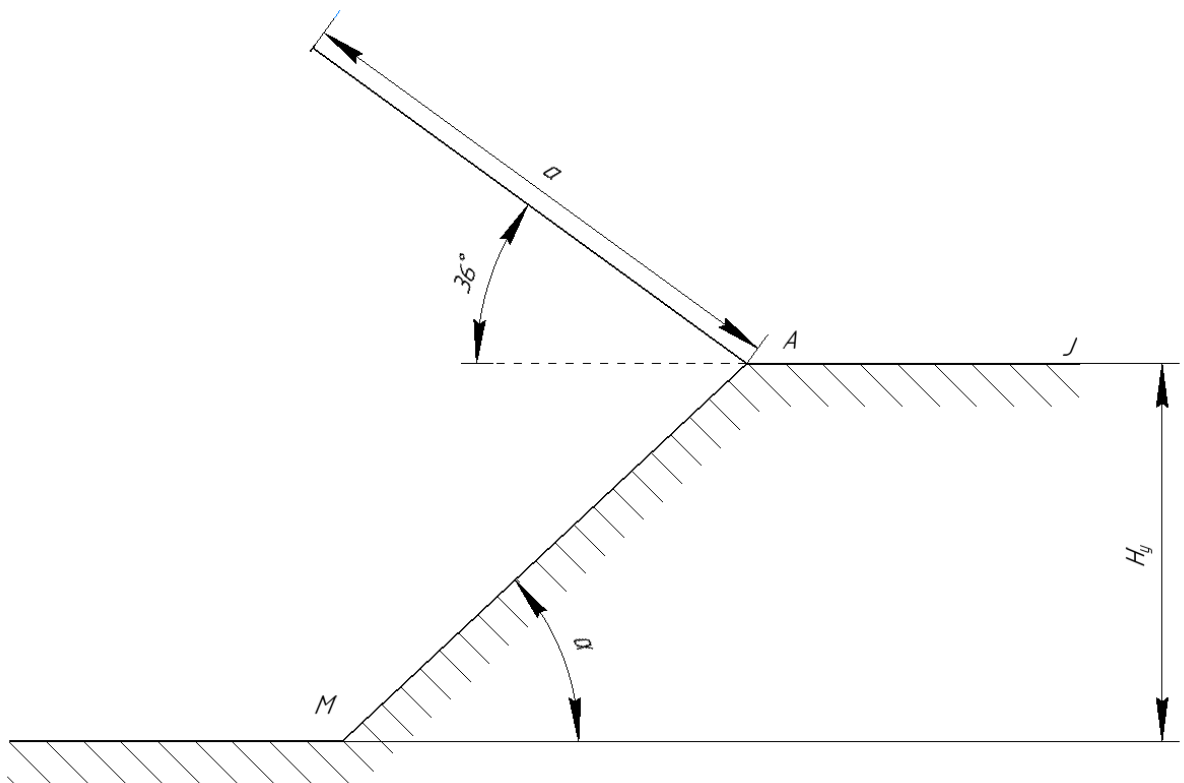
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 34

### Порядок виконання роботи

1. За вихідними даними в масштабі будемо борт кар'єру МАJ.

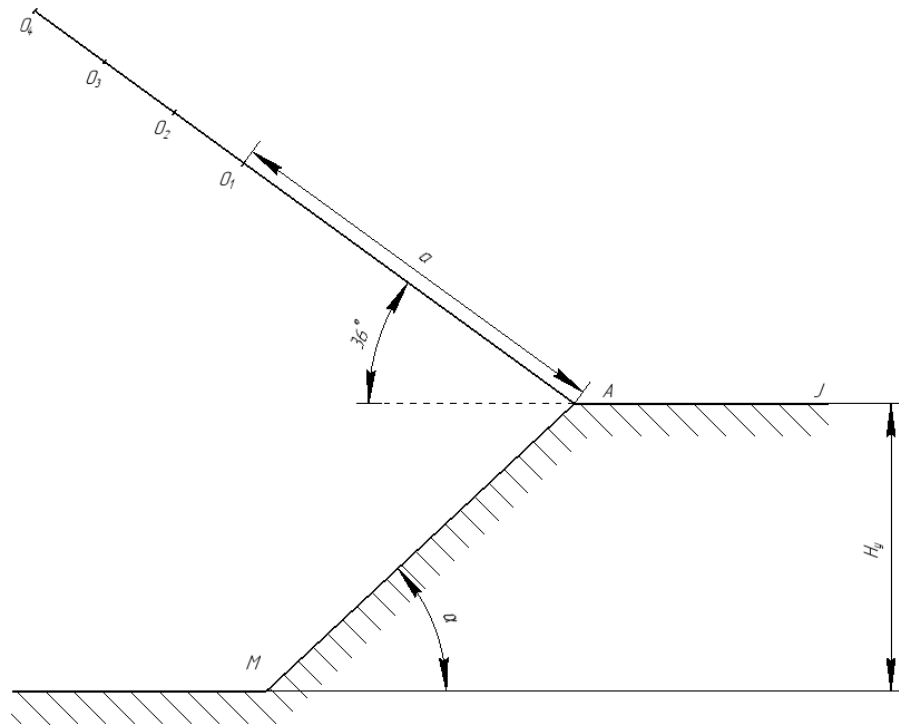


2. З точки A під кутом  $36^\circ$  до горизонтальної площини проводимо пряму, на якій від точки A на відстані  $H/(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos 36^\circ)$  та встановлюємо точку  $O_1$ .

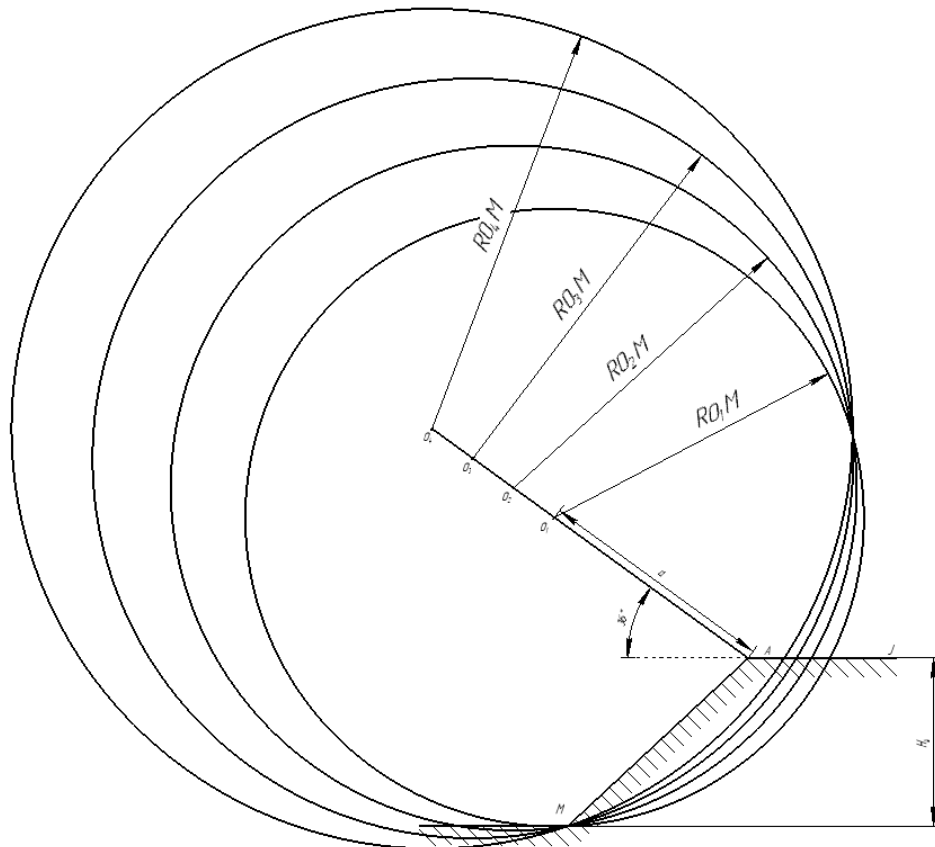


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 35

3. З точки  $O_1$  відкладаємо серію відрізків  $O_1O_2=O_2O_3=O_3O_4=0,3H$ .

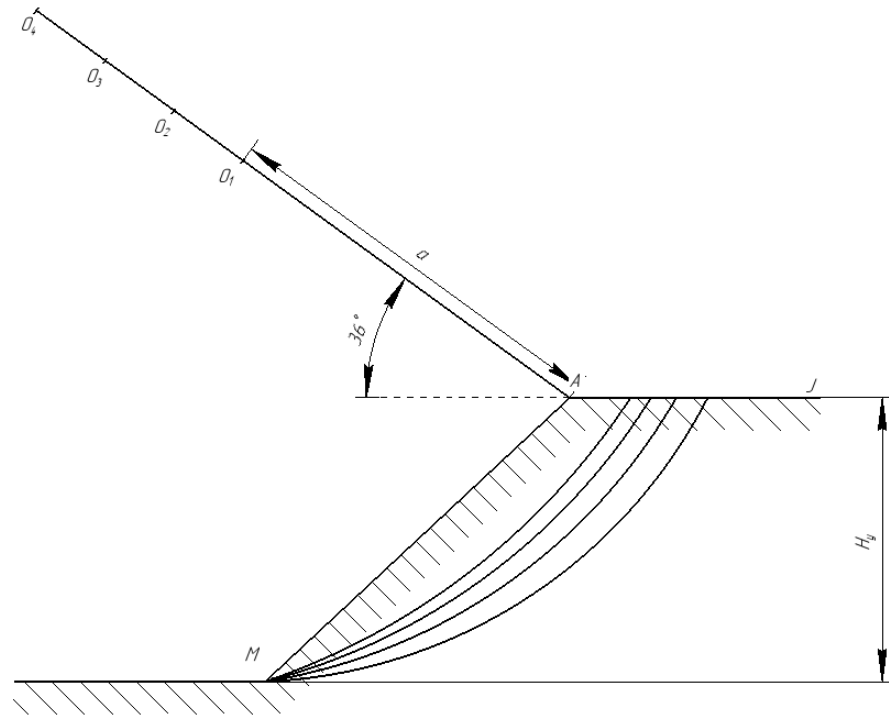


4. З точок  $O_1, O_2, O_3, O_4$  будемо дуги кіл радіусом  $O_1M, O_2M, O_3M, O_4M$  від точки  $M$  до перетину з лінією  $AJ$ .

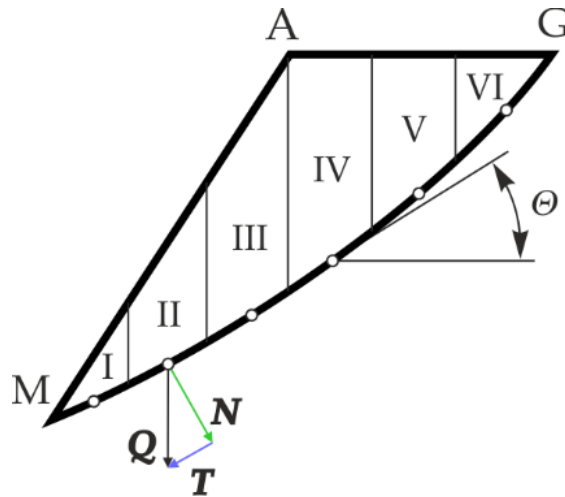


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 36

5. Таким чином отримуємо 4 поверхні ковзання для даного відкосу.



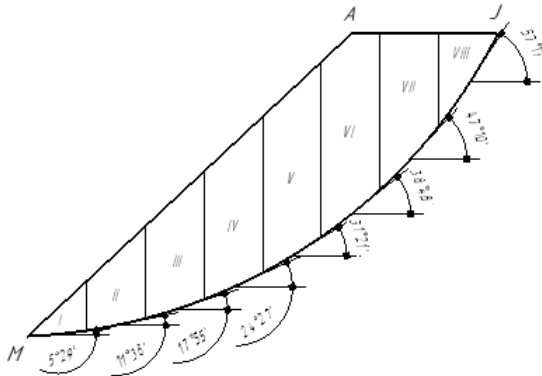
6. Після побудови поверхонь ковзання кожену призму обрушення викреслюємо в масштабі окремо, як показано на слайді, і розбиваємо на 6-8 блоків.



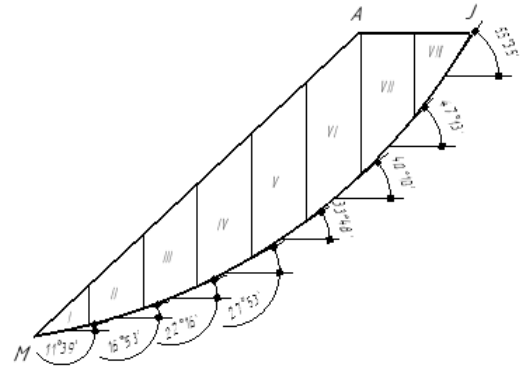
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 37

7. За результатом цього отримуємо:

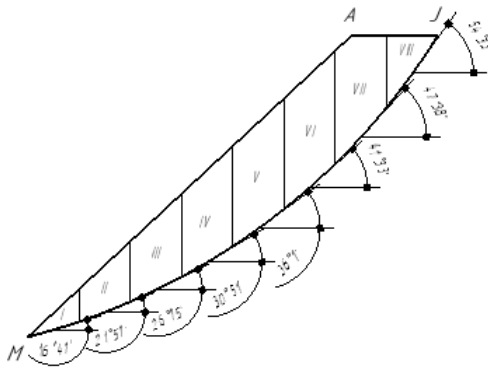
Призма зсуву №1



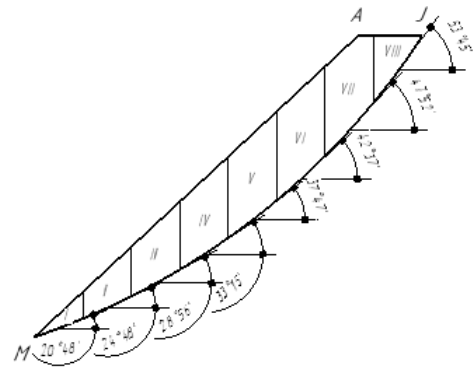
Призма зсуву №2



Призма зсуву №3



Призма зсуву №4



8. Визначаємо вагу кожного блоку:

$$Q = S \cdot \gamma \quad (6.1)$$

де  $S$  – площа блоку (визначається будь-яким доступним методом),  $m^2$ ;  
 $\gamma$  – об'ємна вага порід, що складають відкіс,  $MH/m^3$ .

9. Розраховуємо нормальні  $N$  і дотичні  $T$  складові вектора ваги для кожного блоку:

$$N = Q \cdot \cos \theta \quad (6.2)$$

$$T = Q \cdot \sin \theta \quad (6.3)$$

де  $Q$  – вага кожного блоку,  $MH$ ;

$\theta$  – кути нахилу дотичної до центру дуги поверхні ковзання в кожному блоці.

10. Розраховуємо коефіцієнт запасу стійкості для кожної призми обрушення за формулою:

$$n = \frac{\sum N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + C \cdot L}{\sum T_i} \quad (6.4)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 38

де  $\Sigma N_i$  – сума нормальних складових вектора ваги кожного блоку, МН;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя;

$C$  – зчеплення в елементарному блоці, МПа;

$L$  – довжина криволінійної частини контуру призми обрушення, м;

$\Sigma T_i$  – сума дотичних складових вектора ваги кожного блоку, МН.

11. За кінцеве приймається мінімальне значення коефіцієнта запасу стійкості. Згідно нормативних документів коефіцієнт запасу стійкості має бути не меншим 1,3. Результати вимірювань і розрахунків зводимо до спільної таблиці (приклад таблиці – табл. 6.2).

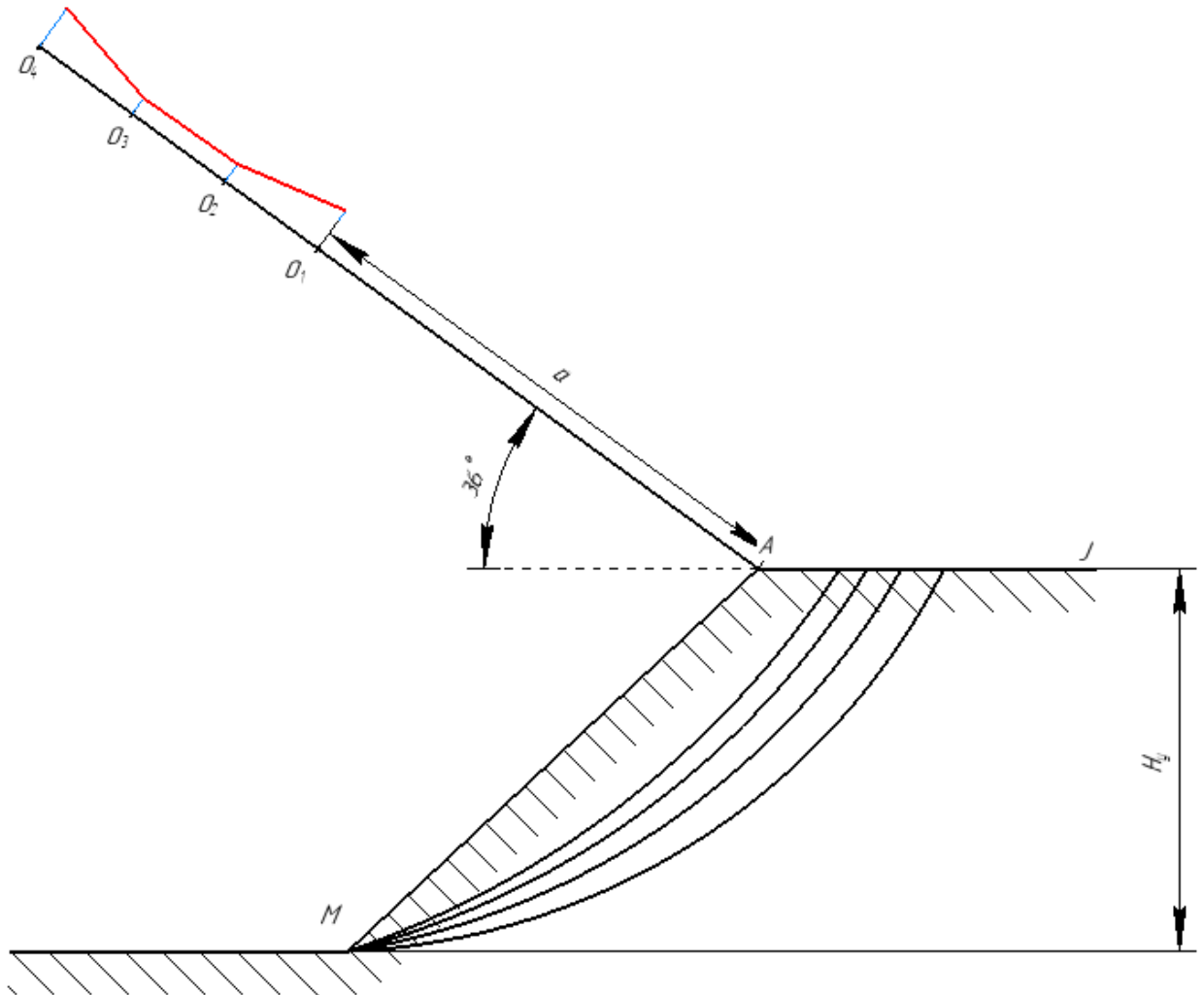
Таблиця 6.2

Приклад оформлення результатів розрахунків

№ блоку	Площа блоку	Кут нахилу дотичної	Вага блоку	N	T	Примітки
	S, м <sup>2</sup>	$\theta^\circ$	Q, МН	МН	МН	
1	2	3	4	5	6	7
Призма обрушення №1						
1						L= n=
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
$\Sigma$						
Призма обрушення №2						
1						L= n=
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
$\Sigma$						
Призма обрушення №3						
1						L= n=
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
$\Sigma$						

Призма обрушення №4					
1					L= n=
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
$\Sigma$					

12. Далі будемо епюру значень коефіцієнтів запасу стійкості. Для цього з точок  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $O_4$  піднімаємо перпендикуляри до лінії  $AO_4$ , на яких відкладаємо відрізки  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$ .



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 40

### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. Які сили є ключовими при визначенні коефіцієнта стійкості відкосу?
2. Які складові потрібно врахувати для визначення коефіцієнта стійкості відкосу?
3. Як знайти нормальні складові тіла зсуву?
4. Як знайти дотичні складові тіла зсуву?
5. Як називається поверхня по якій може відбуватись зсув частини відкосу?
6. Як називається частина відкосу, яка може зсунутись?
7. Як визначити положення точки  $O_1$  на кресленні?
8. Як знайти довжину відрізка  $O_1O_2$  та наскільки довжина відрізків  $O_2O_3$  та  $O_3O_4$  буде більшою від довжини відрізка  $O_1O_2$ ?
9. Пояснити порядок одержання чотирьох можливих поверхонь ковзання.
10. Як визначити кут нахилу дотичної до центру дуги поверхні ковзання окремого блоку?
11. Які значення коефіцієнта стійкості дозволяють говорити про те, що відкіс буде стійким?
12. В яких одиницях вимірюється коефіцієнт стійкості відкосу?



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 41

## Практична робота №7

### Визначення поверхні ковзання відкосу за допомогою геометричних побудов

**Завдання.** Згідно заданих вихідних даних (табл. 6.1), які характеризують параметри відкосу борта кар'єру і фізико-механічних характеристик породи, що його складає, виконати розрахунок коефіцієнта запасу стійкості методом геометричних побудов.

#### Порядок виконання роботи

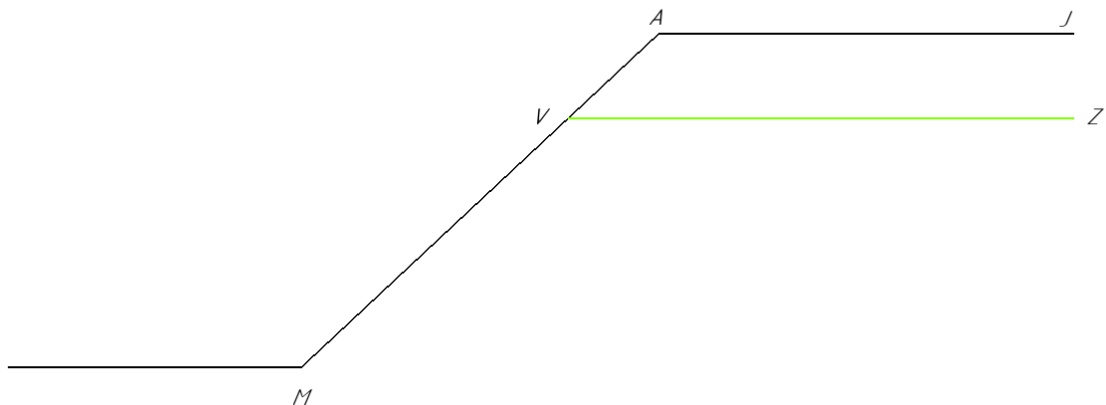
1. Паралельно земній поверхні (AJ) на відстані  $H_{90}$  від неї проводимо пряму VZ. Параметр  $H_{90}$  визначає розмір тріщини вертикального відриву (висоту вертикального оголення) і визначається за формулою:

$$H_{90} = \frac{2C \cdot (45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{\gamma} \quad (7.1)$$

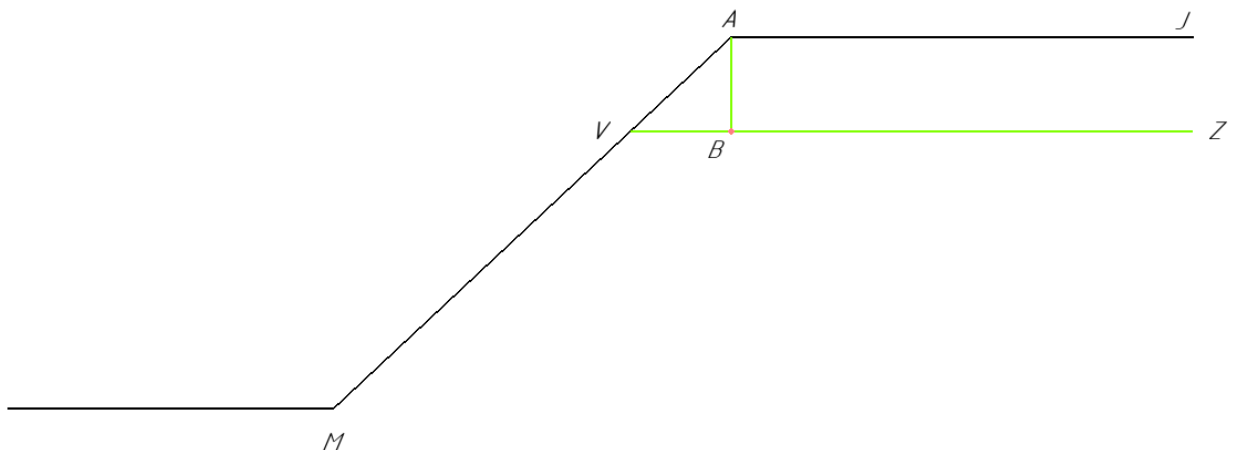
де  $C$  – зчеплення породи, МПа;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя породи;

$\gamma$  – середня об'ємна вага породи, МН/м<sup>3</sup>.

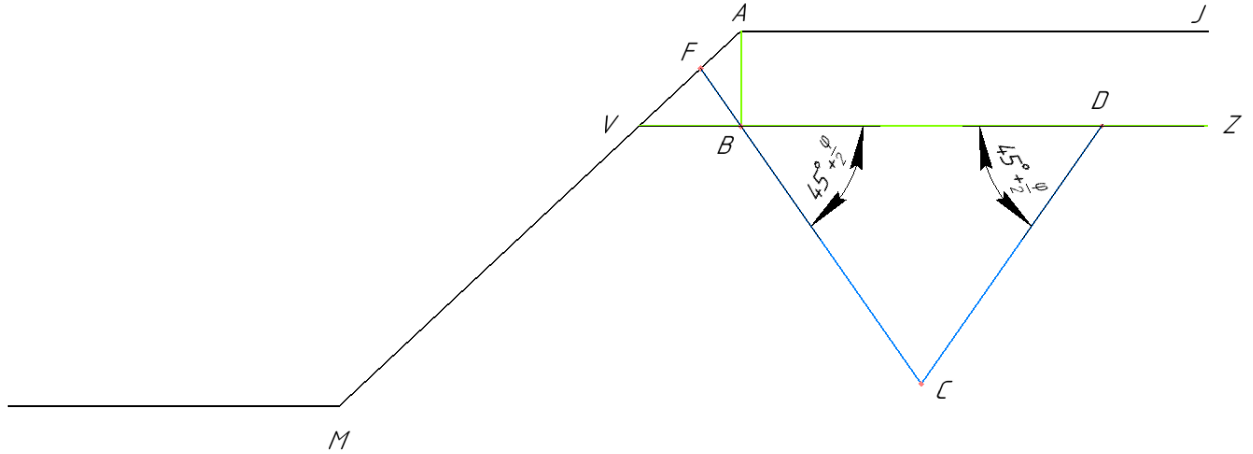


2. З кутової точки відкосу A на пряму VZ опускаємо перпендикуляр AB.

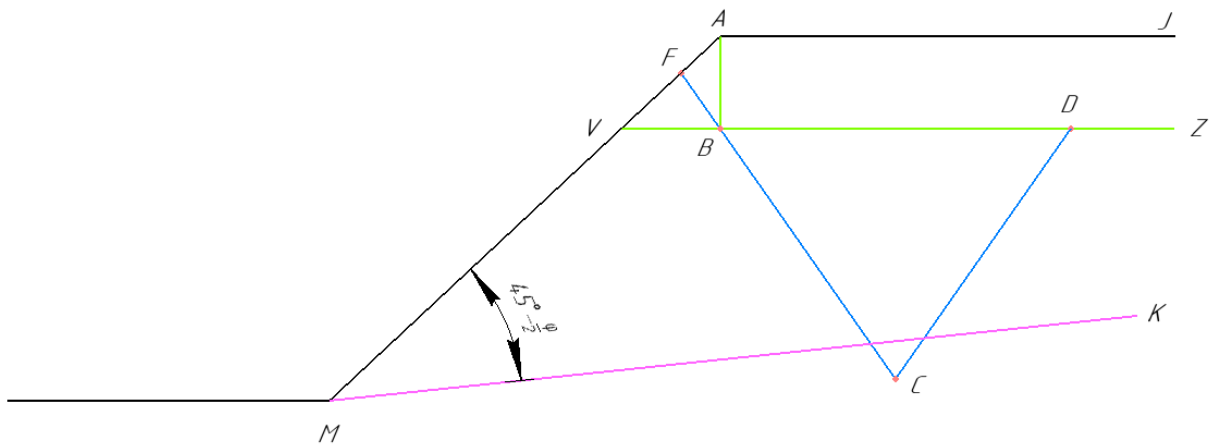


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 42

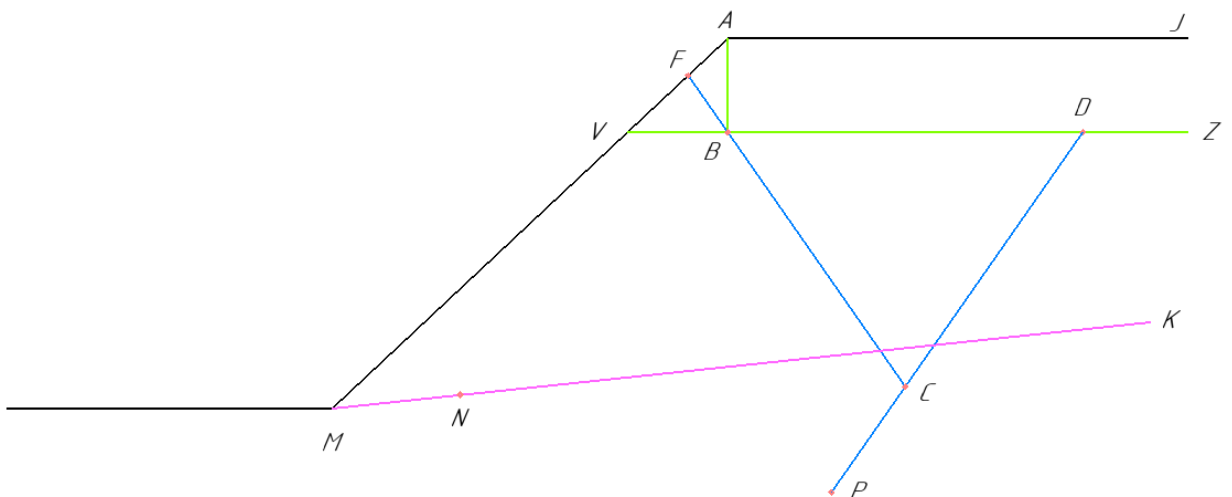
3. З довільної точки D лінії VZ і з точки B у зустрічних напрямках під кутом  $\beta = 45^\circ + (\varphi/2)$  до VZ проводимо лінії DC і BC, при цьому лінію BC продовжуємо до перетину з лінією відкосу MA і на перетині отримуємо точку F.



4. З нижньої точки відкосу M під кутом  $\varepsilon = 45^\circ - (\varphi/2)$  до лінії відкосу проводимо пряму МК.

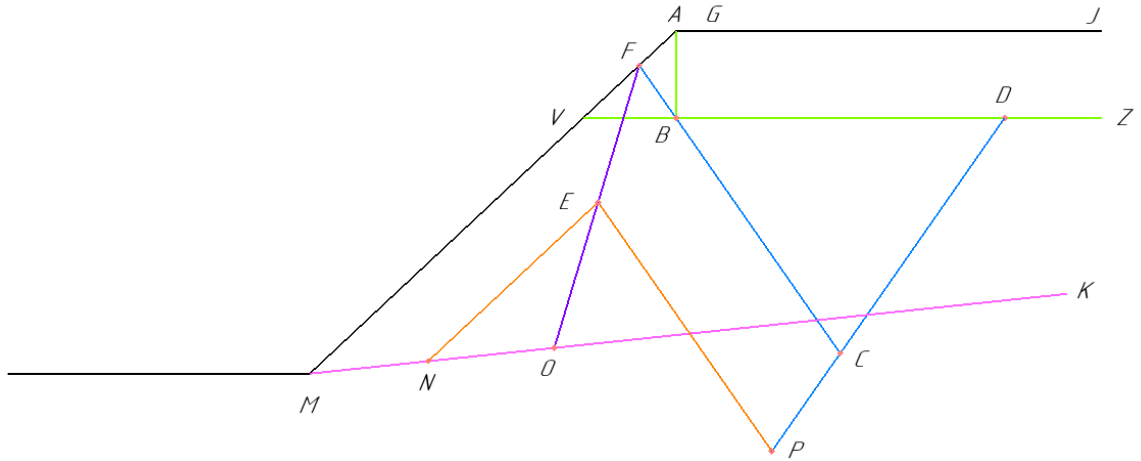


5. На лінії МК від точки M відкладаємо довільний відрізок MN. На лінії BC від точки C відкладаємо такий самий відрізок, тобто  $MN = CP$ .

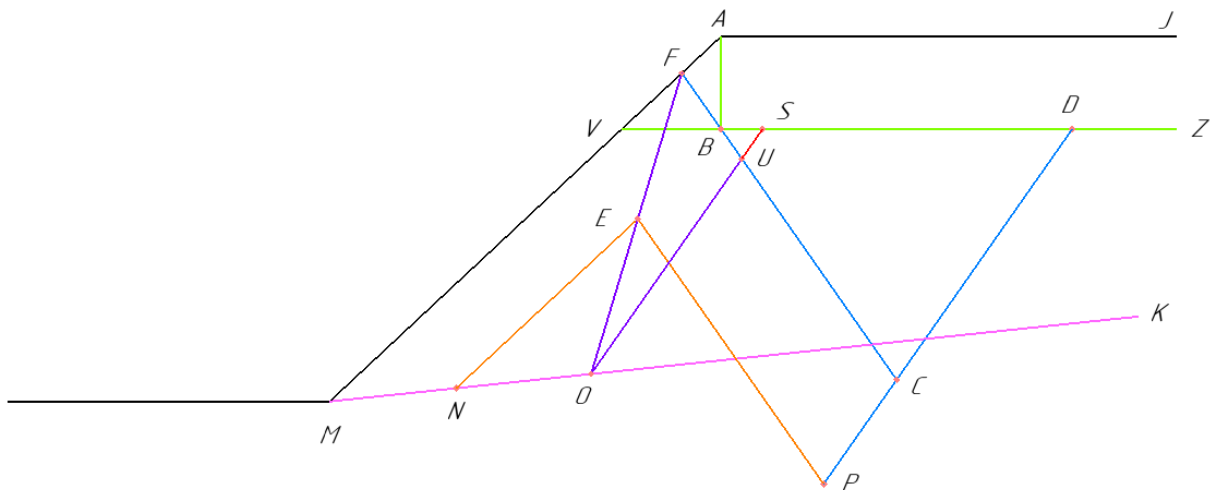


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 43

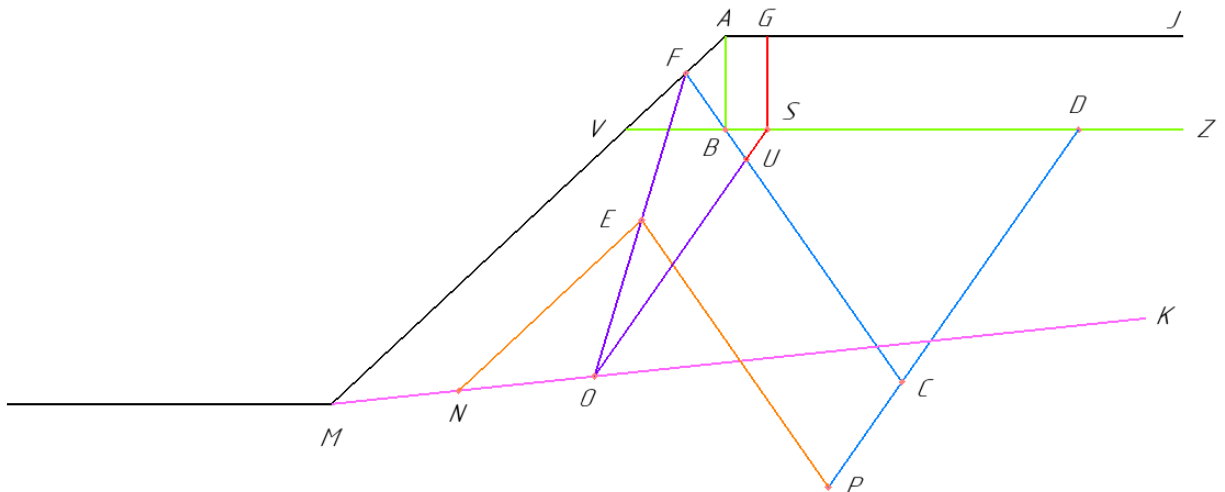
6. З точок  $N$  і  $P$  паралельно лініям  $MA$  і  $BC$  відповідно проводимо прямі, які перетнуться в точці  $E$ . Через цю точку і точку  $F$  проводимо пряму  $FO$ .



7. З точки  $O$  паралельно  $DC$  будемо лінію, яка на перетині з прямою  $VZ$  дає нам точку  $S$ .

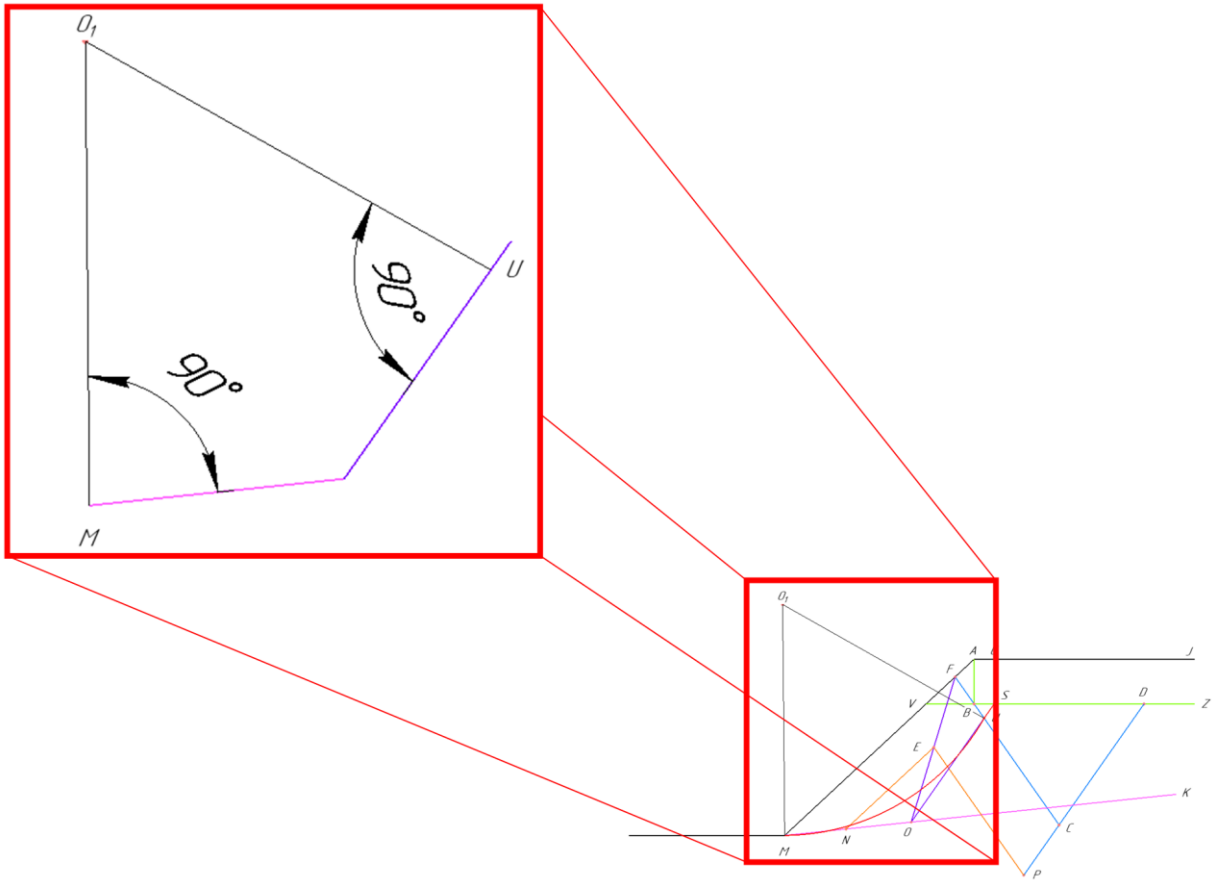


8. З точки  $S$  піднімаємо перпендикуляр  $SG$  до лінії  $AJ$ .

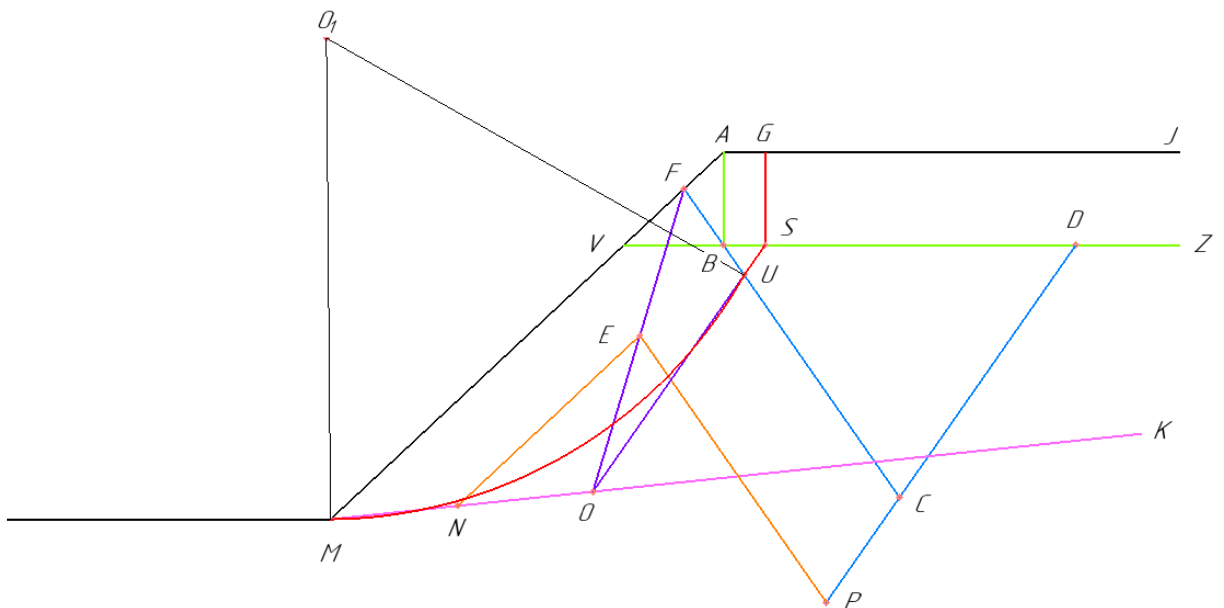


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 44

9. Лінії МК і OS в точках М і U (точку U отримаємо на перетині прямих OS і BC) є дотичними кола, яке приймаємо за вертикальний слід поверхні ковзання. Для отримання цього кола з точок М і U проводимо перпендикуляри до дотичних і на їх перетині отримаємо центр кола  $O_1$ .

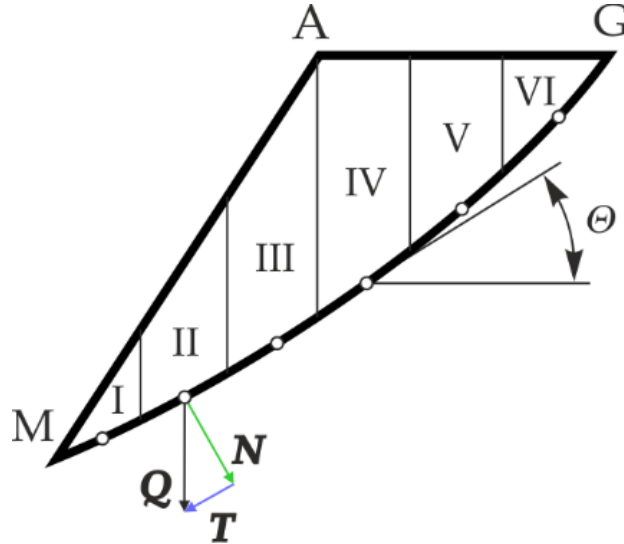


10. Таким чином, отримаємо контур призми обрушення AGSUM.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 45

11. Далі отриману призму обрушення, аналогічно попередньому методу, розбиваємо на блоки і визначаємо значення кута кути нахилу дотичної до центру дуги поверхні ковзання.



12. Визначаємо вагу кожного блоку:

$$Q = S \cdot \gamma \quad (7.2)$$

де  $S$  – площа блоку (визначається будь-яким доступним методом),  $\text{м}^2$ ;  
 $\gamma$  – об'ємна вага порід, що складають відкіс,  $\text{МН}/\text{м}^3$ .

13. Розраховуємо нормальні  $N$  і дотичні  $T$  складові вектора ваги для кожного блоку:

$$N = Q \cdot \cos \theta \quad (7.3)$$

$$T = Q \cdot \sin \theta \quad (7.4)$$

де  $Q$  – вага блоку,  $\text{МН}$ ;

$\theta$  – кути нахилу дотичної до центру дуги поверхні ковзання в кожному блоці.

14. Розраховуємо коефіцієнт запасу стійкості для кожної призми обрушення за формулою:

$$n = \frac{\sum N_i \cdot \text{tg} \varphi + C \cdot L}{\sum T_i} \quad (7.5)$$

де  $\sum N_i$  – сума нормальних складових вектора ваги кожного блоку,  $\text{МН}$ ;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя;

$C$  – зчеплення в елементарному блоці,  $\text{МПа}$ ;

$L$  – довжина криволінійної частини контуру призми обрушення,  $\text{м}$ ;

$\sum T_i$  – сума дотичних складових вектора ваги кожного блоку,  $\text{МН}$ .

15. Результати вимірювань і розрахунків заносимо в таблицю, приклад якої наведений нижче (табл. 7.1).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 46

Таблиця 7.1

Результати розрахунків коефіцієнтів запасу стійкості методом алгебраїчного складання сил при визначенні поверхні ковзання за допомогою геометричних побудов

№ блоку	Площа блоку	Кут нахилу дотичної	Вага блоку	N	T	Примітки
	S, м <sup>2</sup>	$\theta^\circ$	Q, МН	МН	МН	
1	2	3	4	5	6	7
1						L= n=
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
$\Sigma$						

### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. Як побудувати пряму VZ?
2. Як визначити положення точки D?
3. Як визначити положення точки C?
4. Як побудувати пряму МК?
5. Як знайти точку S?
6. Як визначити положення точки O<sub>1</sub>?
7. Якими точками буде визначатись профіль призми зсуву?
8. Пояснити порядок отримання даних при виконанні розбивки отриманої призми на блоки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 47

## Практична робота №8

### Визначення положення поверхні ковзання в ізотропному відкосі та розрахунок коефіцієнта запасу стійкості методом дотичних напружень

**Завдання.** Згідно заданих вихідних даних, які характеризують параметри відкосу борта кар'єру і фізико-механічних характеристик порід, що його складають, визначити положення поверхні ковзання ізотропного масиву та вирахувати коефіцієнт запасу стійкості користуючись методом дотичних напружень. Вихідні дані для виконання завдання наведені в таблиці 6.1.

#### Порядок виконання роботи

1. Виконання даної роботи потрібно розпочати з визначення ширини призми можливого обрушення за розрахунковими характеристиками опору порід зсуву:

$$a = \frac{2H \left[ 1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \varphi}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \varphi}{2} \right)} \quad (8.1)$$

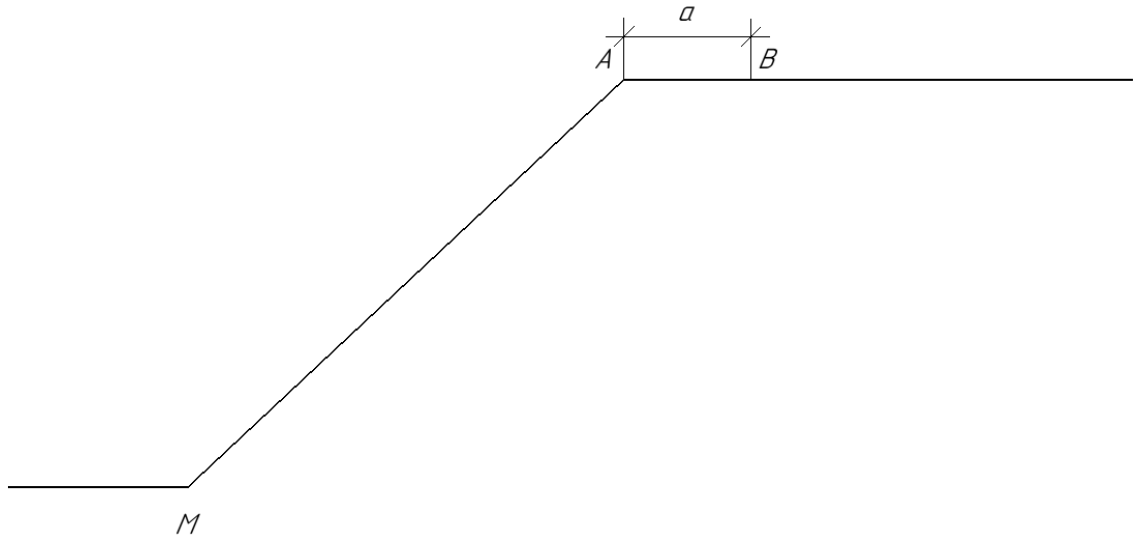
де  $H$  – висота борта кар'єру, м;

$\alpha$  – кут відкосу;

$H_{90}$  – глибина вертикальної тріщини відриву, м;

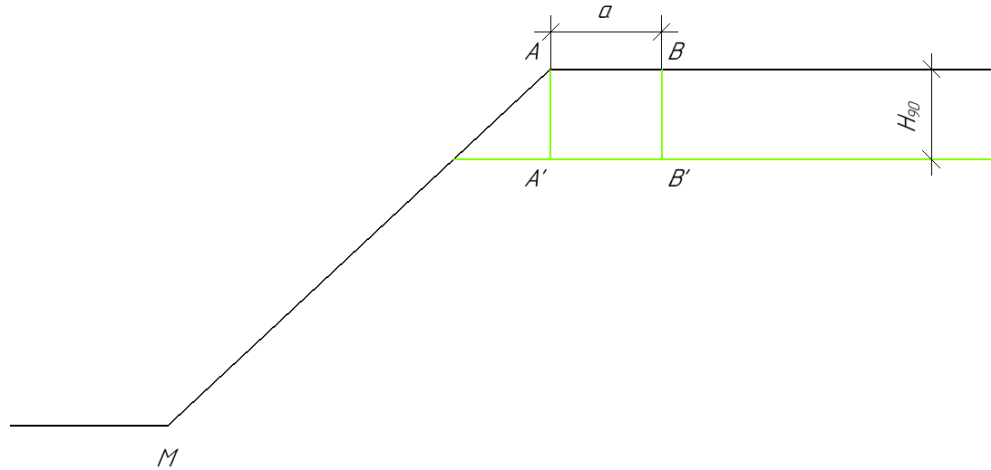
$\varphi$  – кут внутрішнього тертя породи.

2. Від верхньої бровки відкосу А в горизонтальному напрямку згідно масштабу креслення відкладаємо відрізок  $a = AB$ , який рівний ширині призми обрушення.

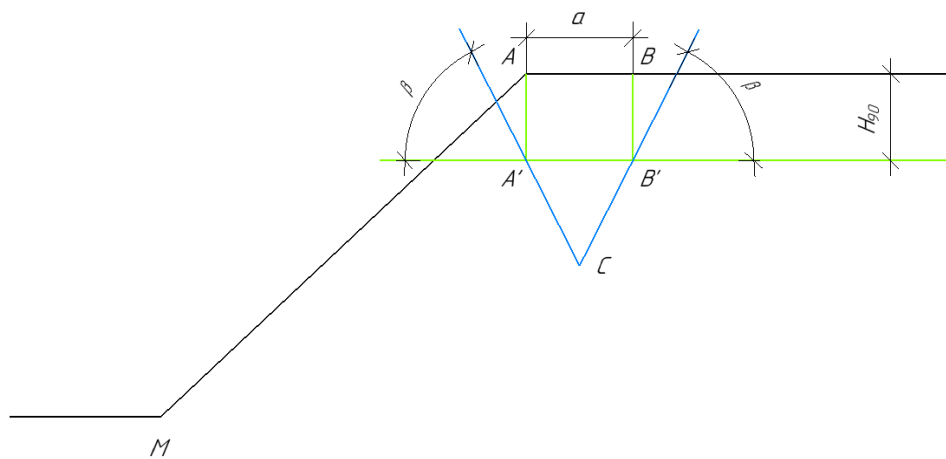


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 48

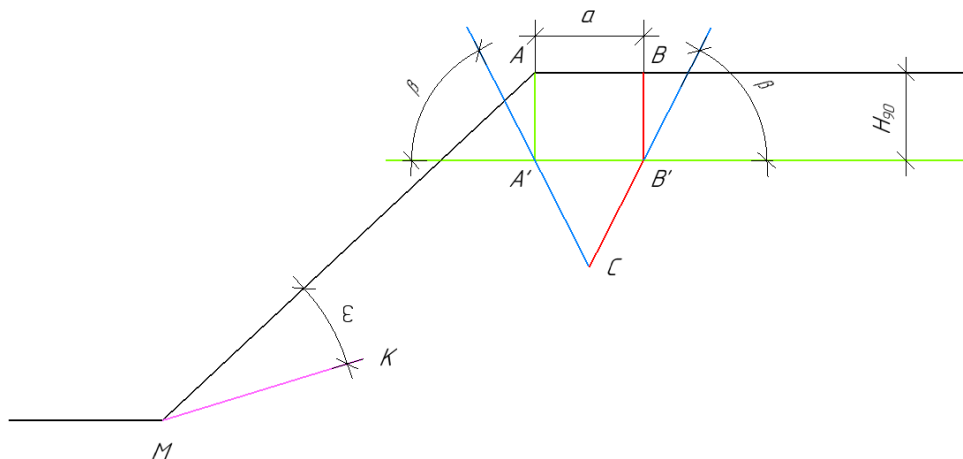
3. З точок  $A$  і  $B$  опускаємо перпендикуляри і відкладаємо на них величину  $H_{90}$ , внаслідок чого отримуємо точки  $A'$  і  $B'$ .



4. Потім з точок  $A'$  і  $B'$  в зустрічних напрямках під кутом  $\beta = 45^\circ + (\varphi/2)$  до горизонту проводимо промені, які перетинаються в точці  $C$ .



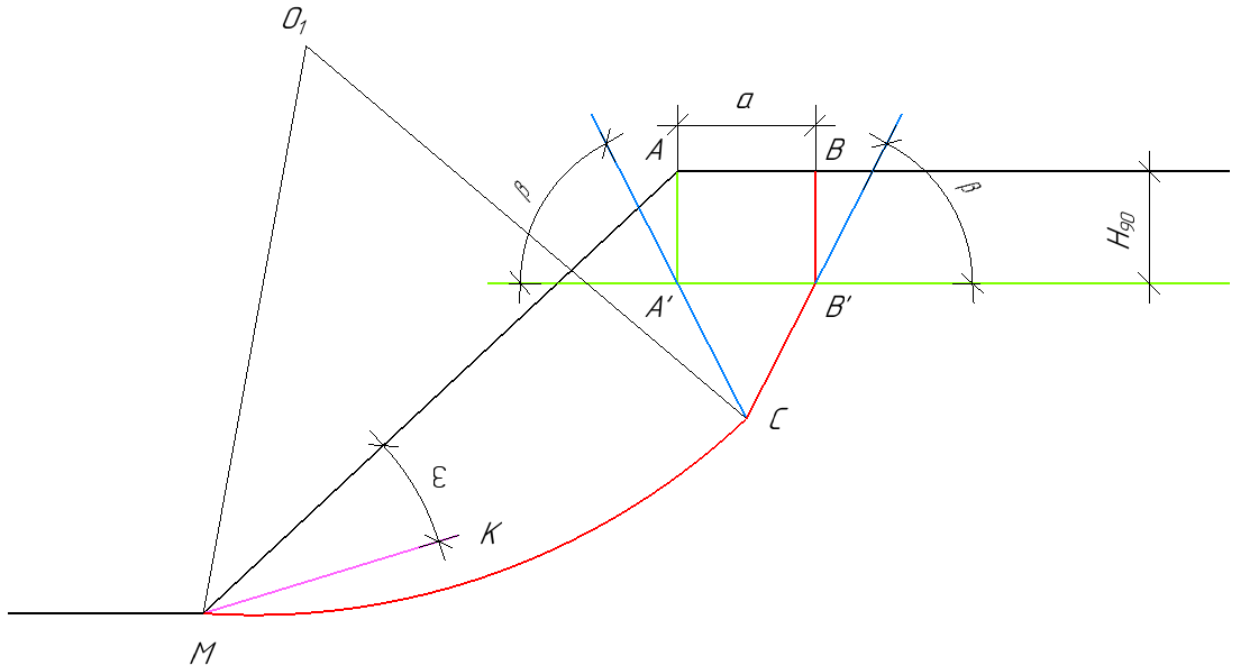
5. З нижньої точки відкосу  $M$  під кутом  $\varepsilon = 45^\circ - (\varphi/2)$  до лінії відкосу проводимо пряму  $MK$ .



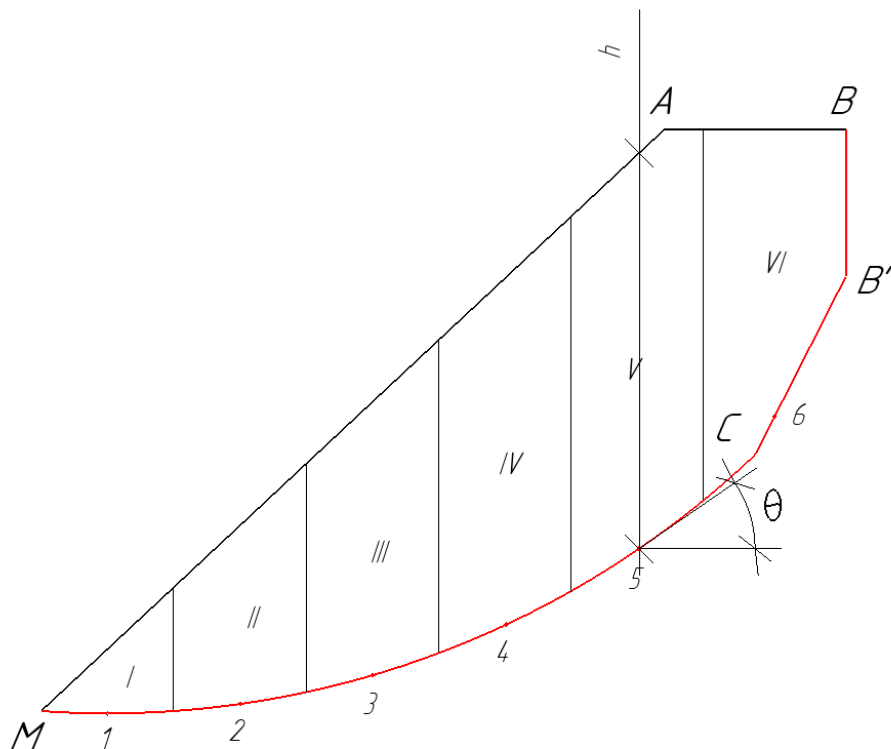


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 49

6. З точки  $C$  піднімаємо перпендикуляр до напрямку  $B'C$  до взаємного перетину в точці  $O_1$  з перпендикуляром проведеним з точки  $M$  до напрямку  $MK$ . Радіусом  $R=O_1C=O_1M$  проводимо дугу кола з центром в точці  $O_1$  від точки  $M$  до точки  $C$ . Лінія  $ABB'CM$  є контуром призми обрушення.



7. Отриману призму обрушення розбиваємо вертикальними лініями на 5-7 блоків. По кожному з одержаних блоків визначаємо висоту та кут нахилу дотичної до центру кожного блоку.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 50

8. Визначасмо величини діючих дотичних  $\tau_{зс}$  і нормальних  $\sigma_n$  напружень по поверхні ковзання:

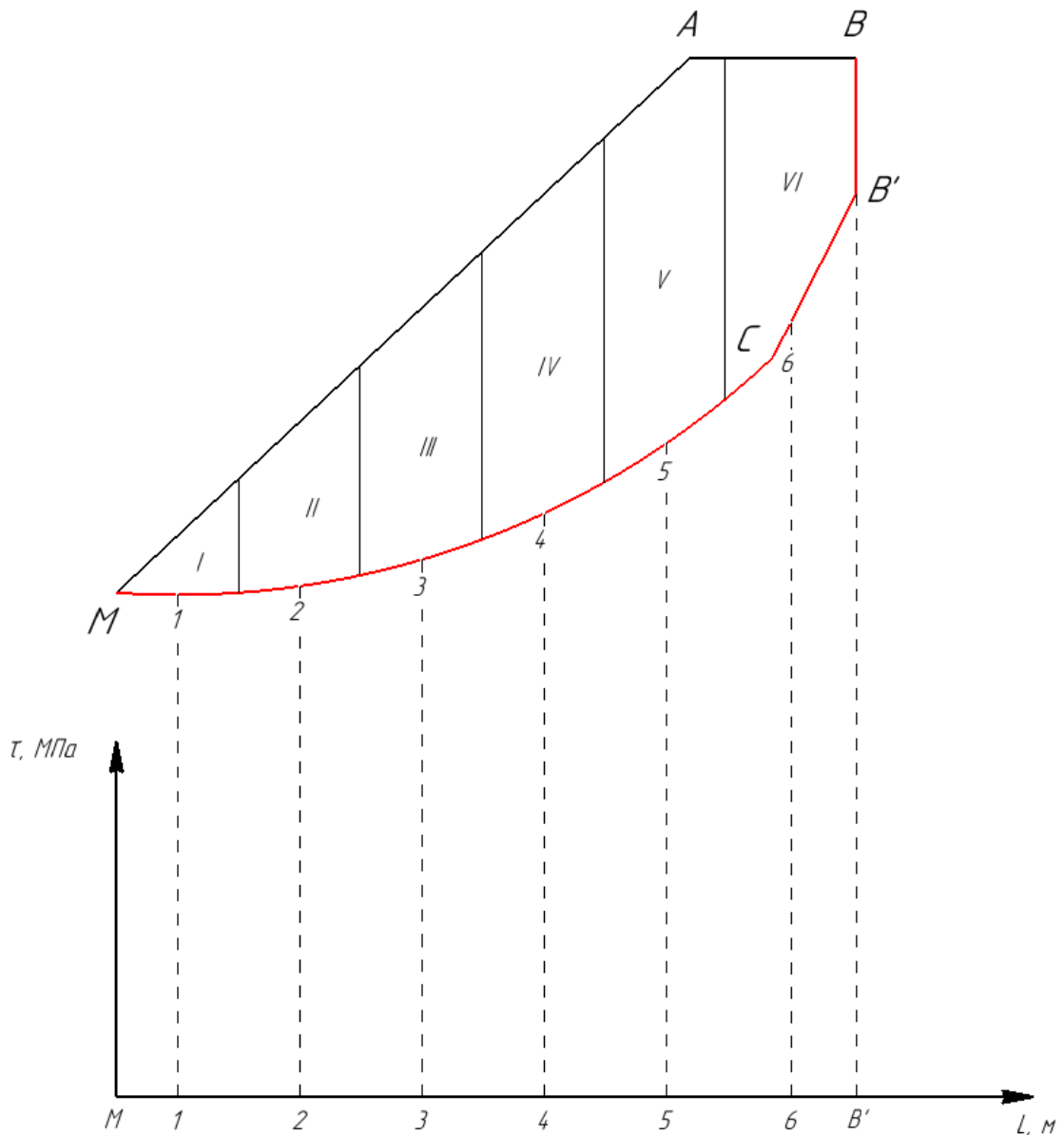
$$\sigma_{ni} = h_i \cdot \gamma \cdot \cos^2 \theta_i \quad (8.2)$$

$$\tau_{зс.i} = 0,5h_i \cdot \gamma \cdot \sin 2\theta_i \quad (8.3)$$

де  $h_i$  – висота окремого блоку, м;

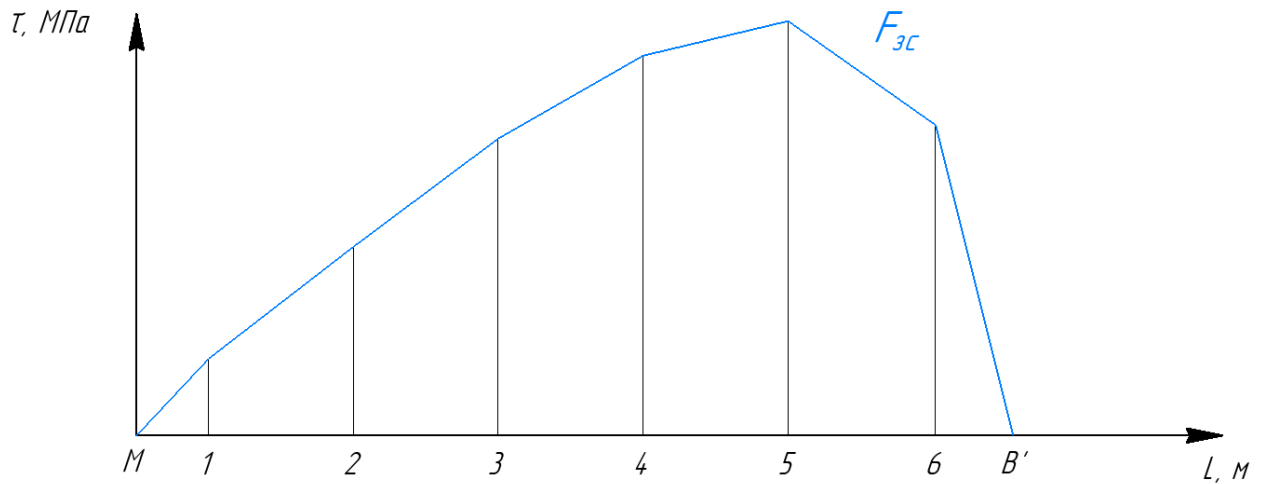
$\theta$  – кут нахилу дотичної до центру дуги окремого блоку.

9. Розраховану поверхню ковзання В'СМ з визначеними точками середин блоків розвертаємо в пряму лінію.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 51

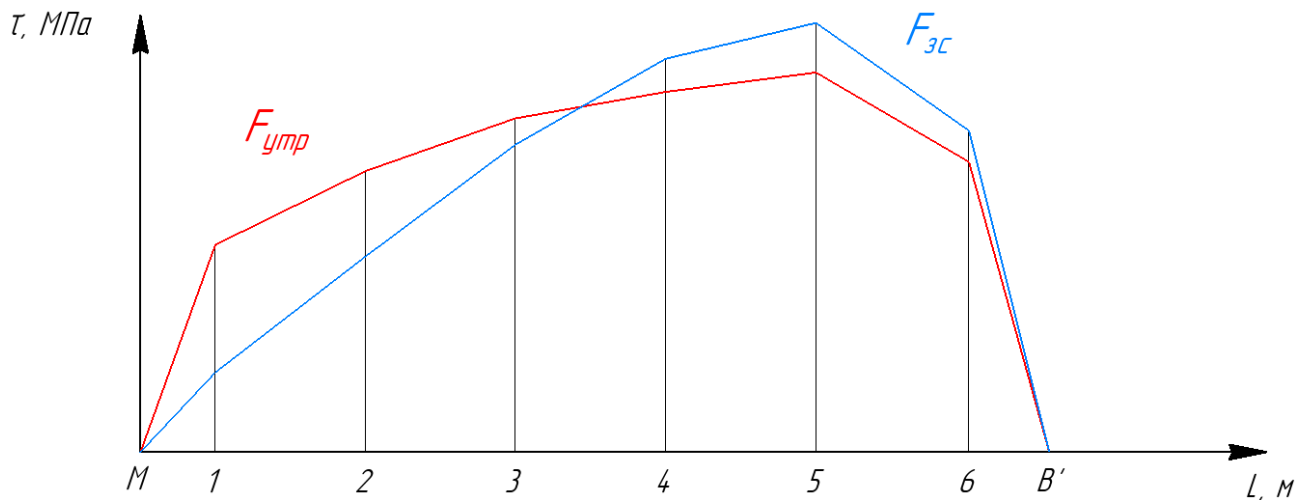
10. В кожній з цих точок (1, 2, ..., n) піднімаємо перпендикуляри, на яких відкладаємо відповідні значення  $\tau_i$ . Кінці відрізків з'єднуємо плавною кривою. Утворена площа епюри  $F_{зс}$  буде сумою сил зсуву  $\Sigma\tau_{зс}$ , які діють на поверхні ковзання.



11. За розрахованими значеннями  $\sigma_n$  за допомогою паспорта міцності порід визначаємо допустимі величини опору зсуву  $\tau_{утр}$ . Паспорт міцності порід описується рівнянням граничної рівноваги Кулона – Мора:

$$\tau_{утр.i} = C + \sigma_{ni} \cdot tg\varphi \quad (8.4)$$

12. Значення  $\tau_{утр}$  відкладаємо на перпендикулярах, які проведені до розвернутої поверхні ковзання з точок 1, 2, ..., n. Отримані точки з'єднуємо плавною кривою. Утворена площа епюри  $F_{утр}$  буде сумою утримуючих сил  $\Sigma\tau_{утр}$ .



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 52

13. Результати вимірювань і розрахунків показуємо у вигляді таблиці.

Результати розрахунків коефіцієнтів запасу стійкості методом «дотичних напружень»

№ блоку	Висота блоку h, м	Кут нахилу дотичної $\theta$ , °	$\sigma_n$ , МПА	$\tau_{zc}$ , МПА	$\tau_{утр}$ , МПА
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
$\Sigma$					

14. Коефіцієнт запасу стійкості відкосу (борта кар'єру, відвалу) знаходимо за формулою:

$$n = \frac{F_{ym}}{F_{zc}} = \frac{\sum \tau_{ym}}{\sum \tau_{zc}} \quad (8.5)$$

#### Перелік питань для захисту практичної роботи

1. Від чого буде залежати ширина призми можливого обрушення?
2. Як визначити положення точок А', В' та С?
3. Як визначити кут  $\beta$ ?
4. Як визначити кут  $\varepsilon$ ?
5. Як встановити положення точки  $O_1$ ?
6. Як визначити висоту блоку?
7. Що потрібно знати для знаходження нормальних напружень?
8. Що потрібно знати для знаходження зсувних напружень?
9. Як виконати розгортання нижньої частини обмежуючої призму можливого зсуву поверхні у пряму лінію.
10. Які величини відкладаються по горизонтальній та вертикальній осях епюри напружень?
11. Як визначити утримуючі навантаження?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 53

## **Вимоги до оформлення практичних робіт**

Практичні роботи мають бути виконані на аркушах паперу формату А-4 з рамкою відповідного розміру і подаватись на перевірку у підшитому вигляді. Перша сторінка лабораторної роботи має міститись на сторінці з рамкою для основного напису висотою 40 мм, всі наступні сторінки роботи мають бути оформленні на аркушах з рамкою висотою 15 мм. На титульному аркуші роботи потрібно вказати назву дисципліни, курс, прізвище, ім'я та по батькові студента та його особистий шифр. Всі аркуші роботи мають бути пронумеровані.

Кожна практична робота має починатись з нової сторінки. Практична робота має включати вихідні данні у відповідності до варіанту та власне виконані розрахунки і графічні додатки. Чисельні вихідні дані мають бути наведені у формі таблиці, подібної до тої, звідки студент ці дані обирає.

Викладення розв'язку має бути послідовним і зрозумілим. Формули, що застосовуються, мають бути спочатку записані в аналітичному вигляді, і лише по тому до них підставляють чисельні значення і проводять обчислення. Хід розв'язання і застосування формул має супроводжуватися пояснювальним текстом. Окрім цього мають бути вказані одиниці виміру отриманих величин.

При оформленні лабораторної роботи за допомогою текстового редактора, мають бути дотримані наступні вимоги:

- шрифт (Times New Roman);
- розмір шрифту (14 пт.);
- інтервал (1,5 пт.);
- абзац (1,25 мм);
- вирівнювання (по ширині).

Діаграми, схеми, або креслення мають бути виконані олівцем, або за допомогою відповідних графічних додатків на комп'ютері. Розміщення графічних матеріалів має відбуватись на окремих аркушах стандартних розмірів (А4, А3 і т.д.) з рамкою висотою 55 мм. В момент здачі роботи студент має володіти теоретичними знаннями які відносяться до теми практичної роботи, могли пояснити порядок та суть виконання розрахунків, та проаналізувати отриманий результат.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 54

Приклад оформлення титульної сторінки

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Державний університет «Житомирська політехніка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет гірничої справи, природокористування та будівництва  
(повна назва факультету)

Кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.  
(назва структурного підрозділу)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО РОЗРАХУНКОВО-  
ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

з дисципліни «Механіка гірських порід»  
(назва дисципліни)

на тему: « \_\_\_\_\_ »  
(тема роботи)

Викладач

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові)

Студент

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові)

Житомир  
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 55

Приклад рамки для оформлення сторінки з основним написом

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>						
<i>Розробив</i>								<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>										
<i>Рецензував</i>										
<i>Н.Контр.</i>										
<i>Затвердив</i>										

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 56

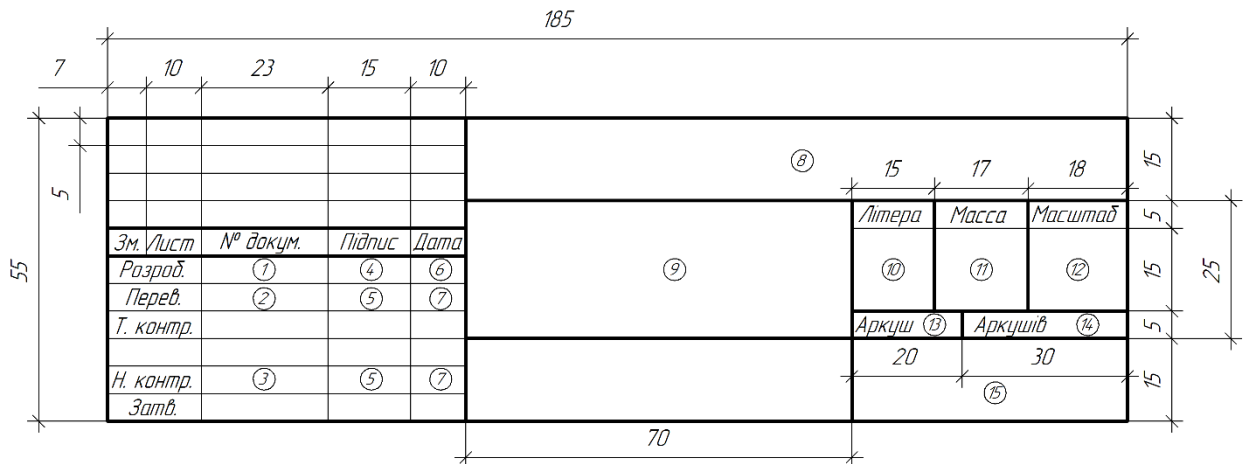
Приклад рамки для оформлення інших сторінок практичної роботи

					Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 57

### Пам'ятка для правильного заповнення рамок



- 1 Прізвище виконавця (лише прізвище в називному відмінку, без ініціалів)
- 2 Прізвище викладача
- 3 Прізвище викладача
- 4 Підпис виконавця
- 5 Підпис викладача
- 6 Дата виконання роботи
- 7 Дата захисту роботи
- 8 Шифр
- 9 Назва креслення (у даному випадку – назва практичної роботи)
- 10 Літера шифр креслення (в даному випадку Н – навчальне)
- 11 Маса накресленої деталі (лишається незаповненим)
- 12 Масштаб
- 13 Номер поточного аркуша
- 14 Загальна кількість аркушів
- 15 Назва навчального закладу та шифр групи

\* поля що не відмічені цифрами лишаються порожніми

Приклад оформлення шифру роботи: КГТБ.РР24.01.00.ПЗ

- КГТБ шифр кафедри (Кафедра гірничих технологій та будівництва)  
 РР24 тип роботи (РР – розрахункова робота, ЛР – лабораторна робота, КП – курсовий проект і т.д.) та рік виконання  
 01 варіант  
 00 порядковий номер роботи  
 ПЗ тип документу (ПЗ – пояснювальна записка, ЗВ – звіт і т.д.)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.05- 05.02/3/184.00.1/Б/ВК1.3- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 58 / 58

## Список рекомендованої літератури

### Основна література

1. Шашенко О.М. Механіка гірських порід / О.М. Шашенко // Навч. Посібник. Дніпропетровськ: Національна гірнича академія України, 2002. 302 с.

### Допоміжна література

2. Бондаренко В.І., Медяник В.Ю., Руденко М.К. Вугільна шахта: підручник для ВУЗів Дніпро: РВК НТУ «ДП», 2020. – 360 с.

3. Фізико-хімічна геотехнологія [Текст]: навч. посібник / М.М. Табаченко, О.Б. Владико, О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 310 с.

4. Фізика нафтового і газового пласта: підручник / І.М. Купер, А.В. Угриновський. – Івано-Франківськ. нац. техн. ун-т нафти і газу. – Івано- Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 447 с.

5. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина І. Підготовчі процеси Навчальний посібник. — Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2019. — 199 с. — ISBN 978-617-7553-73-0

6. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина ІІ. Основні процеси Навчальний посібник. — Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2019. — 211 с. — ISBN 978-617-7553-80-8.

7. Кравець В.Г., Білецький В.С., Смирнов В.О. Техніка і технологія збагачення корисних копалин Навчальний посібник. — Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 2019. — 286 с.