


ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

**ФІЗИКА ТА МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД:  
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ**

спеціальність 184 Гірництво

Запоріжжя 2025



УДК 622.2 (072)  
Ф48

Рекомендовано Науково-методичною  
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 1 від 24.10.2025р.)

Укладачі:

Сахно І.Г. докт. техн. наук, професор

Сахно С.В., канд. техн. наук, доцент

Рецензент:

Назаренко В.О. – доктор техн. наук, професор, професор кафедри  
гірничої справи ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ  
ПОЛІТЕХНІКА».

Ф48 Фізика та механіка гірських порід : методичні вказівки до  
виконання індивідуальних завдань (для студентів спеціальності  
184 Гірництво усіх форм навчання першого (бакалаврського)  
рівня вищої освіти) / уклад.: І. Г. Сахно, С. В. Сахно. Запоріжжя :  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,  
2025. 23 с.

Методичні вказівки присвячені розрахунку фізико-механічних  
властивостей гірських порід на основі результатів лабораторних тестів  
породних зразків. В методичних вказівках наведені рекомендації щодо  
розрахунку міцносних параметрів гірських порід, параметрів, що  
характеризують вміст вологи, побудови паспорту міцності гірських порід  
при об'ємному стисненні, одноосьовому стисненні і розтягуванні  
графічним методом.

Рекомендовано для студентів спеціальності 184 Гірництво  
першого (бакалаврського) рівня освіти, які вивчають дисципліну «Фізика  
та механіка гірських порід».

УДК 622.2 (072)



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	4
<b>ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА 1.</b> Розрахунок міцносних і деформаційних параметрів гірських порід і параметрів, що характеризують вміст вологи	5
<b>ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА 2.</b> Побудова паспорту міцності гірських порід	14
<b>ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ІНДИВІДУАЛЬНИХ РОБІТ</b>	21
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	22
<b>ДОДАТОК А.</b> Приклад оформлення титульної сторінки індивідуальної роботи	23



## ВСТУП

Курс «Фізика та механіка гірських порід» є обов'язковою навчальною дисципліною професійної і практичної підготовки освітніх програм спеціальності 184 Гірництво, освітнього рівня «Бакалавр».

Наведене в методичних вказівках ІНДЗ виконується паралельно з вивченням курсу, відповідно до запланованих контрольних точок.

Мета – закріплення і розширення теоретичних знань, надбання практичних навиків з аналізу механічних властивостей гірських порід з метою прогнозу поведінки породних масивів і удосконалення процесів гірничого виробництва.

Методичні вказівки містять теоретичні відомості щодо розрахунку параметрів, які характеризують вміст води в гірських породах, міцносних і деформаційних параметрів гірських порід, основних методів визначення міцності порід при одновісному стисненні, визначення міцності при об'ємному стисненні, загальні відомості про паспорт міцності, методику побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності порід при об'ємному стисненні, одновісному стисненні і розтягуванні, методику побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності порід при зрізі зі стисненням, одновісному стисненні і розтягуванні, методику побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності при одновісному стисненні і розтягуванні.

Наведені завдання є методом активного навчання і відповідно до існуючих вимог є практичним додатком.

До «Методичних вказівок...» увійшли наступні роботи: «Розрахунок міцносних параметрів гірських порід і параметрів, що характеризують вміст вологи» (індивідуальна робота 1); «побудова паспорта міцності гірських порід» (індивідуальна робота 2).

Роботи виконуються самостійно (за необхідності передбачена консультація викладача). Під самостійною роботою розуміється самостійне вивчення окремих питань згідно робочої програми дисципліни (тематика яких встановлюється лектором, який викладає дисципліну).

# 1. ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА 1

## Розрахунок міцносних і деформаційних параметрів гірських порід і параметрів, що характеризують вміст вологи

### 1.1 Теоретичні відомості для виконання роботи

Наявність пор і тріщин в породах зумовлює можливість їх заповнення різними рідинами і газами. В результаті порода стає багатофазним середовищем і тому її властивості залежать від всіх складаючих компонентів, і від їх взаємодії. Найбільш часто пори і тріщини гірських порід заповнені водою, яка може знаходитися в різному вигляді.

1.1.1. Для характеристики вмісту води в породі в природному стані користуються параметром природної вологості  $\omega_e$ . **Природна вологість** дорівнює відносній кількості води, що міститься в породах в природних умовах.

**Природна вологість  $\omega_e$**  визначається по формулі:

$$\omega_e = \frac{(m_{\Pi} - m_c)}{m_c}, \quad (1.1)$$

де  $m_{\Pi}$  – маса зразка породи в природному стані, кг;

$m_c$  - маса зразка породи, в сухому стані (висушеного при температурі 105-110°C), кг;

Максимальна кількість зв'язаної, капілярної і гравітаційної води, яку здатна вмістити порода, характеризується її **повною вологоємністю** (масовою та об'ємною).

**Масова повна вологоємність  $\omega_{\Pi}$**  визначається по формулі:

$$\omega_{\Pi} = \frac{(m_{\Pi} - m_c)}{m_c}, \quad (1.2)$$

де  $m_{\Pi}$  – маса зразка породи, максимально насиченої водою, кг;

$m_c$  - маса зразка породи, в сухому стані (висушеного при температурі 105-110°C), кг;

**Об'ємна повна вологоємність  $\omega_{\Pi,об}$**  визначається по формулі:

$$\omega_{\Pi,об} = \frac{V_B}{V}, \text{ Відн. од.}, \quad (1.3)$$

де  $m_{\Pi}$  – маса породи, максимально насиченої водою, кг;

$V_B$  – об'єм води, що заповнює породу ( $V_B = \frac{m_{\Pi} - m_c}{\rho_B}$ ), м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм породи, м<sup>3</sup>.

Об'ємна вологоємність пов'язана с масовою за допомогою наступної формули:

$$\omega_{п.об} = \omega_{п} \frac{\rho_{в}}{\rho}, \text{ відн. од.}, \quad (1.4)$$

де  $\rho_{в}$  – щільність води, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – об'ємна маса породи, кг/м<sup>3</sup>.

**Коефіцієнт водонасичення  $k_{вн}$** , це показник, який вказує на ступінь насичення породи водою. Він пов'язує *природну вологість* і *повну вологоємність* за допомогою наступної формули::

$$k_{вн} = \frac{\omega_e}{\omega_{п}}, \text{ відн. од.} \quad (1.5)$$

1.2. Здатність гірських порід чинити опір зовнішнім механічним впливам встановлюється під час проведення випробувань на спеціальних установках, як правило, в лабораторних умовах. Випробування проводяться за різними методиками, відповідно до яких визначаються деформаційні, міцнісні і реологічні характеристики порід.

В залежності від швидкості навантаження, граничних умов і методики випробування породні зразки деформуються по-різному. Для загального розуміння поведінки порід при навантаженні виділяють *пружні, крихкі або пластичні* якості.

Здатність матеріалів повністю відновлювати початкову форму і розміри після зняття навантаження називається пружністю. Графік пружного деформування уявляє собою пряму лінію (рис. 1).

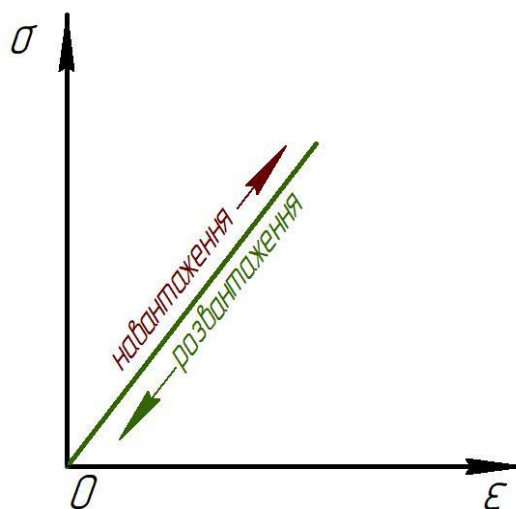



Рисунок 1.1 – Графік пружного деформування гірських порід.

Кількісну оцінку здатності гірських порід пружно деформуватися



можна отримати за допомогою трьох основних показників: модуля пружності –  $E$  (модуля Юнга), коефіцієнта Пуассона –  $\mu$  і модуля зсуву –  $G$ .

**Модуль пружності  $E$**  дорівнює відношенню величини нормального напруження  $\sigma$  до величини відповідної подовжньої відносної деформації  $\varepsilon$ :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \text{ Па,} \quad (1.6)$$

де  $\sigma$  – нормальні напруження, Па;  
 $\varepsilon$  – відносні подовжні деформації.

**Коефіцієнт Пуассона  $\mu$**  - це відношення відносної поперечної  $\varepsilon_{\perp}$  до відносної подовжньої деформації  $\varepsilon$ :

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\perp}}{\varepsilon}, \text{ відн. од,} \quad (1.7)$$

де  $\varepsilon_{\perp}$  – відносні поперечні деформації.

**Модуль зсуву  $G$** , іноді його ще називають *модулем жорсткості*, є мірою пружної жорсткості матеріалу на зсув і визначається як відношення зсувного напруження  $\tau$  до зсувної деформації  $\gamma$ :

$$G = \frac{\tau}{\gamma}, \text{ Па.} \quad (1.8)$$

Зсувне напруження  $\tau$  визначається як відношення сили  $F$ , яка викликає зсув до площі перетину зразка  $S$  на яку діє сила. Зсувна деформація визначається як відношення поперечного переміщення до початкової довжини зразка.

В реальних умовах пружні властивості, в їх класичному розумінні, в гірських породах спостерігаються не часто. Як правило гірські породи мають і пружні і пластичні властивості. На відміну від пружності, *пластичність* – характеризує здатність гірських порід здобувати (залишкові) деформації після зняття навантаження. Графік пластичного деформування уявляє собою криву лінію (рис. 2).

Кількісну оцінку здатності гірських порід деформуватися пластично можна отримати за допомогою модуля пластичності. **Модуль пластичності  $E_{\text{пл}}$**  (на стадії пластичного деформування, визначається графічним шляхом):

$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma_{\text{пл}}}{\varepsilon_{\text{пл}}}, \text{ Па,} \quad (1.9)$$

де  $\sigma_{\text{пл}}$  – нормальні напруження на стадії пластичного

деформування, Па;

$\varepsilon$  – відносні подовжні деформації на стадії пластичного деформування.

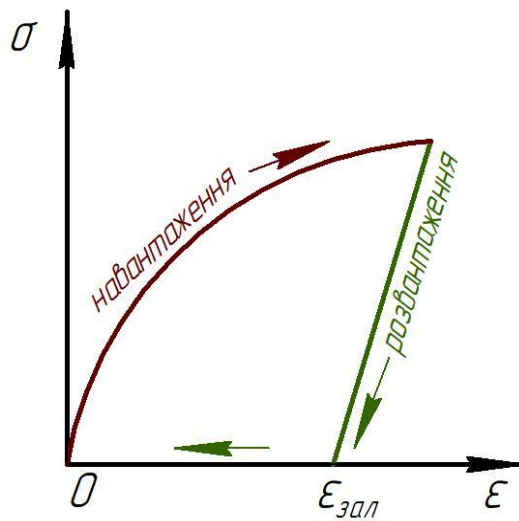


Рисунок 1.2 – Графік пластичного деформування гірських порід

Якщо ж породи на різних етапах навантаження мають різні деформаційні характеристики, то можна казати про пружно-пластичні і пластично-пружні породи. Такі породи до межі пружності  $\sigma_{пр}$  деформуються пружно, отримуючи при цьому пружні відносні деформації  $\varepsilon_{пр}$  після чого переходять в пластичну стадію деформування. Загальні відносні деформації таких порід  $\varepsilon_{заг}$  складаються з пружних  $\varepsilon_{пр}$  і пластичних  $\varepsilon_{пл}$ . Графіки пластично-пружного і пружно-пластичного деформування наведені на рис. 3.

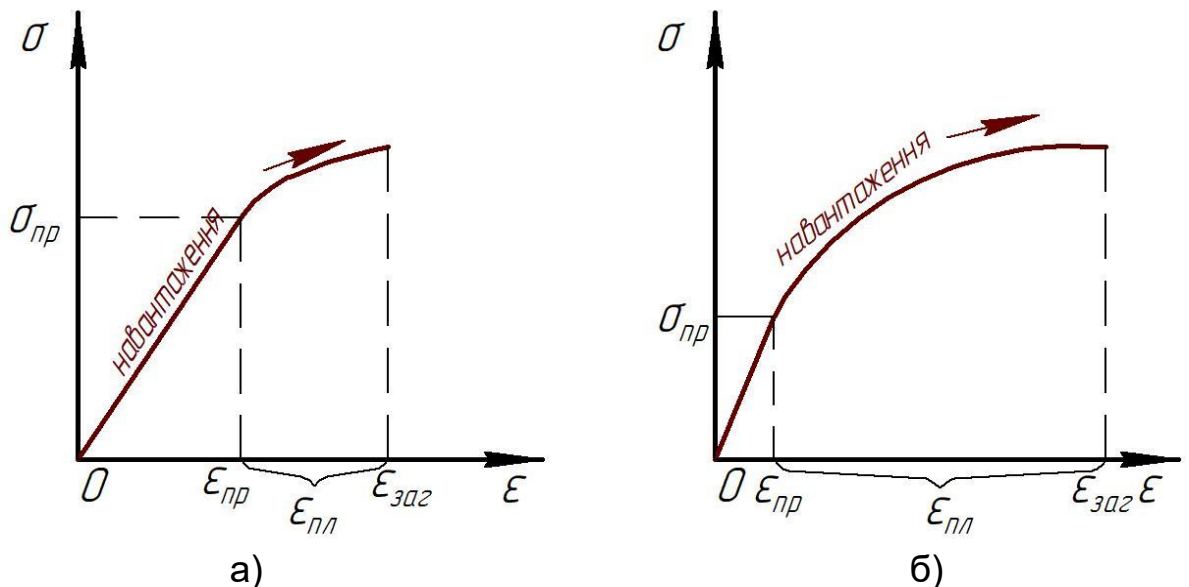


Рисунок 1.3 – Графік пружно-пластичного (а) і пластично-пружного деформування гірських порід (б).

Для кількісної оцінки здатності гірських порід деформуватись на всьому шляху навантаження використовують модуль деформації гірських порід.

**Модуль деформації гірської породи  $E_0$**  дорівнює відношенню нормальних напружень  $\sigma$ , до загальної відносної деформації  $\varepsilon_{\text{заг}}$ :

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{заг}}}, \text{ МПа} \quad (1.10)$$

## 1.2 Завдання до індивідуальної роботи 1.

За результатами розвідувального керна буріння відібрано дві проби породи. На цих пробах в лабораторних умовах проведено визначення фізико-механічних властивостей гірських порід. Користуючись результатами цих випробувань необхідно встановити характеристики гірських порід. Для цього необхідно:

1. Визначити природну вологість  $\omega_e$  гірської породи, користуючись значеннями ваги зразка до і після висушування при температурі 110 °С, відповідно до варіанту завдання. За результатами зважування зразка при його водонасиченні визначити масову вологоємність  $\omega_p$  і побудувати графік зміни коефіцієнта водонасичення  $k_{\text{вн}}$  в часі.

2. Визначити модуль пружності, модуль пластичності, модуль деформації гірської породи і коефіцієнт Пуассона, за результатами випробувань на одновісний стиск. Встановити межу міцності зразка. Побудувати криву його деформування.

Вихідні дані для виконання 1 завдання по варіантам

Варіант	Маса зразка в природних умовах	Маса висушеного зразка	Маса зразка після водонасичення через, годин			
			2	4	6	8
1	1.5	1.36	1.63	1.7	1.73	1.75
2	1.4	1.3	1.53	1.6	1.63	1.65
3	1.6	1.36	1.68	1.75	1.78	1.8
4	1.45	1.32	1.55	1.62	1.65	1.67
5	1.35	1.24	1.47	1.52	1.55	1.56
6	1.5	1.38	1.63	1.7	1.73	1.75
7	1.4	1.32	1.53	1.6	1.63	1.65
8	1.6	1.39	1.68	1.75	1.78	1.8
9	1.45	1.27	1.55	1.62	1.65	1.67
10	1.35	1.29	1.47	1.52	1.55	1.56



Вихідні дані для виконання 2 завдання по варіантам

**Варіант 1**

t, с	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	46
F, Т	0	1.1	2.21	3.31	4.42	5.52	6.62	7.73	8.83	9.94	11.04	12.14	13.25	13.69	13.91	14.13	8.83
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	100	100	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2	100.3	100.3	100.4	100.4	100.4	100.48	100.6	100.7	100.9	101

**Варіант 2**

t, с	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	46
F, Т	0	1.32	2.65	3.97	5.30	6.62	7.94	9.28	10.60	11.93	13.25	14.57	15.90	16.43	16.69	16.96	10.60
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	100	100	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2	100.3	100.3	100.4	100.4	100.4	100.48	100.6	100.7	100.9	101

**Варіант 3**

t, с	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	46
F, Т	0	1.22	2.45	3.67	4.90	6.12	7.33	8.56	9.78	11.01	12.23	13.45	14.68	15.17	15.41	15.66	9.78
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	75	75.04	75.08	75.12	75.16	75.2	75.24	75.28	75.32	75.36	75.4	75.44	75.48	75.6	75.73	75.9	76



### Варіант 4

t, с	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	46
F, Т	0	1.14	2.30	3.44	4.60	5.74	6.88	8.04	9.18	10.34	11.48	12.63	13.78	14.24	14.47	14.70	9.18
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	75	75.04	75.08	75.12	75.16	75.2	75.24	75.28	75.32	75.36	75.4	75.44	75.48	75.6	75.73	75.9	76

### Варіант 5

t, с	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	46
F, Т	0	1.03	2.08	3.11	4.15	5.19	6.22	7.27	8.30	9.34	10.38	11.41	12.46	12.87	13.08	13.28	8.30
H, мм	100	99.84	99.68	99.51	99.34	99.18	99.01	98.84	98.68	98.51	98.34	98.18	98.1	97.84	97.7	97.3	97.13
D, мм	75	75.04	75.08	75.12	75.16	75.2	75.24	75.28	75.32	75.36	75.4	75.44	75.48	75.6	75.73	75.9	76

### Варіант 6

t, с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
F, Т	0	1.1	2.21	3.31	4.42	5.52	6.62	7.73	8.83	9.94	11.24	12.1	12.3	12.6	12.8	13	7.2
H, мм	100	99.83	99.67	99.5	99.33	99.17	99	98.83	98.67	98.5	98.17	97.92	97.8	97.62	97.4	97.2	97.13
D, мм	100	100	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2	100.3	100.3	100.4	100.5	100.5	100.58	100.7	100.8	100.95	101

  
**Варіант 7**

t, с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
F, Т	0	1.38	2.76	4.14	5.53	6.90	8.28	9.66	11.04	12.43	14.05	15.13	15.38	15.75	16.00	16.25	9.00
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	100	100	100.1	100.1	100.2	100.2	100.2	100.3	100.3	100.4	100.4	100.4	100.48	100.6	100.7	100.9	101

**Варіант 8**

t, с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
F, Т	0	1.12	2.25	3.36	4.49	5.61	6.73	7.85	8.97	10.10	11.42	12.29	12.50	12.80	13.00	13.21	7.32
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	75	75.04	75.08	75.12	75.16	75.2	75.24	75.28	75.32	75.36	75.4	75.44	75.48	75.6	75.73	75.9	76

**Варіант 9**

t, с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
F, Т	0	1.00	2.01	3.01	4.02	5.02	6.02	7.03	8.04	9.05	10.23	11.01	11.19	11.47	11.65	11.83	6.55
H, мм	150	149.8	149.7	149.5	149.3	149.2	149.0	148.8	148.7	148.5	148.3	148.2	148.0	147.8	147.6	147.2	147.0
D, мм	75	75.04	75.08	75.12	75.16	75.2	75.24	75.28	75.32	75.36	75.4	75.44	75.48	75.6	75.73	75.9	76



**Варіант 10**

t, с	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
F, τ	0	1.29	2.59	3.88	5.18	6.47	7.76	9.06	10.35	11.65	13.17	14.18	14.42	14.77	15.00	15.24	8.44
H, мм	100	99.84	99.68	99.51	99.34	99.18	99.01	98.84	98.68	98.51	98.34	98.18	98.1	97.84	97.7	97.3	97.13
D, мм	75	75.04	75.08	75.12	75.16	75.2	75.24	75.28	75.32	75.36	75.4	75.44	75.48	75.6	75.73	75.9	76



## 2. ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА 2

### Побудова паспорту міцності гірських порід

#### 2.1 Теоретичні відомості для виконання роботи

##### 2.1.1 Основні методи визначення міцності порід при одновісному стисненні

Визначення міцності зразків правильної форми (рис. 2.1, а).

У відповідності з міжнародним стандартом повинні виготовлятися зразки циліндричної форми з відношенням висоти до діаметра, рівним одиниці. В якості норми рекомендується циліндричний зразок діаметром 42 мм. Відхилення від цих розмірів допускається в межах від 40 до 45 мм, а відхилення щодо висоти до діаметру – до 5 %. Можуть застосовуватися зразки у вигляді кубиків розміром 50х50х50 мм. Торці зразків повинні бути строго паралельними і відшліфованими. Виготовлення таких зразків пов'язане з високою трудомісткістю.

2. Визначення міцності зразків напівправильної форми. В цьому випадку для випробування на стиск використовують кубовидні зразки з лінійними розмірами паралельних площин 20х20 мм і допустимими відхиленнями від кожного розміру не більше  $\pm 2$  мм. Ці зразки виходять в результаті визначення міцності при розтягуванні методом розколювання пластин клинами (це дозволяє при мінімальному об'ємі проби отримати максимальну число даних по міцності порід). Межа міцності при одновісному стисненні  $\sigma_{ст}$  визначається за формулою

$$\sigma_{ст} = \frac{P}{F}, \text{ МПа}, \quad (2.1)$$

де  $P$  – максимальне навантаження на зразок в момент руйнування,  
 $H$ ;

$F$  – площа поперечного перерізу зразка,  $m^2$ .

3. Метод співвісних пуансонів (рис. 2.1, б). Призначений для масових досліджень міцності скельних і напівскельних порід (однорідних і не крупнозернистих). Сутність методу полягає в стисненні дискових зразків (діаметром від 30 до 100 мм і товщиною 10...12 мм) двома однаковими циліндричними розташованими співвісно пуансонами. Межа міцності визначається за величиною руйнівного навантаження і діаметрів зразка і пуансонів.



Методи визначення міцності при розтягуванні поділяються на наступні групи:

1. Методи прямого розтягування (рис. 2.1, в) полягають у безпосередньому розриві зразка. Внаслідок складності виготовлення фігурних зразків і фактичному руйнуванні не в розрахункових перерізах, а в місцях концентрації напружень на неоднорідностях породи, ця група методів для гірських порід практично не застосовується.

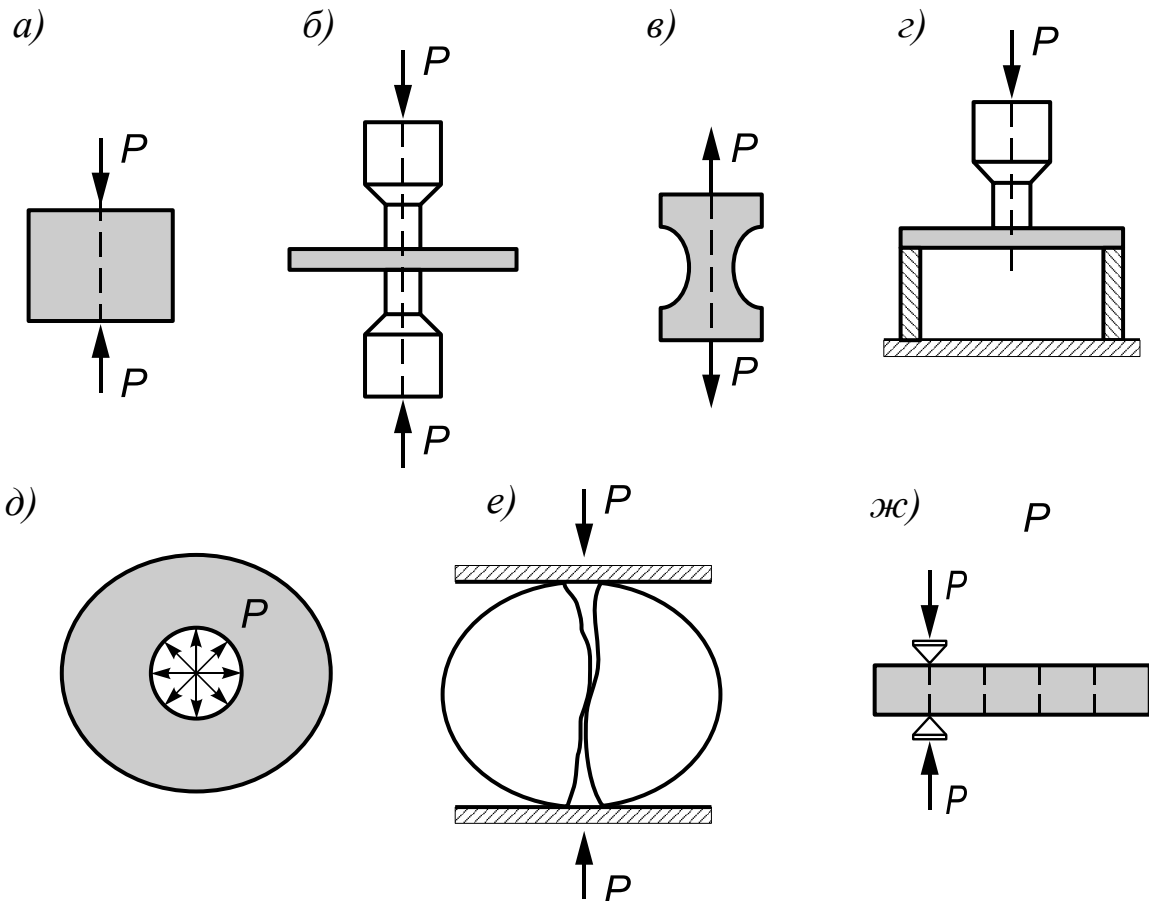


Рисунок 2.1 – Методи визначення міцності гірських порід

2. Методи вигину пластин або балок (рис. 2.1, г). Істотним недоліком визначення міцності при розтягуванні цими методами є те, що розтягуючі напруження виникають тільки на нижній стороні зразка, що згинається, внаслідок чого міцність може значно коливатись в залежності від стану його поверхні.

3. Методи розриву зразків правильної і довільної форми з внутрішньою порожниною (рис. 2.1, д). Сутність методів полягає в розриві гірської породи тиском зсередини, що створюється за допомогою гідропатрона або в'язкого сплаву (неньютоновської рідини), що розширюється під навантаженням, які розміщені в отвір зразка. Методам



властиві недоліки: відносна складність виготовлення зразків породи з отвором і невисока точність визначення межі міцності.

4. Метод діаметрального стиснення (рис. 2.1, е). Цей метод полягає в розколюванні циліндричних зразків (кернів) силами, прикладеними по діаметрально протилежним площинам. Напруження розтягування, що виникають в площині перпендикулярній прикладеному навантаженню, розривають зразок. Метод застосовується, головним чином, для порід, що мають крихкий характер руйнування.

Міцність при розтягуванні  $\sigma_p$  визначається за формулою:

$$\sigma_p = \frac{2P}{\pi \cdot F} = \frac{0,637P}{F}, \text{ МПа}, \quad (2.2)$$

де  $P$  – руйнуюче навантаження, Н;

$F$  – площа поперечного перерізу зразка,  $\text{м}^2$ .

5. Метод розколювання пластин клинами (рис. 2.1, ж). Один з найпоширеніших методів визначення міцності гірських порід на розрив. Хоча метод є непрямим, він дозволяє отримувати результати, схожі з результатами випробувань порід безпосередньо на розтяг. Сутність методу полягає у випробуванні зразка пластиноподібної форми на стиск лінійно зосередженим навантаженням з двох сторін клинами. Таке навантаження викликає розрив зразка на дві частини по поверхні, що проходить уздовж контакту породи з лінійно зосередженим стискаючим навантаженням.

Для випробування розколюванням використовують зразки у вигляді пластин розміром не менше  $100 \times 100$  мм та товщиною 20 мм, що виготовляються на каменерізних машинах. Площини зразка повинні відрізу бути паралельними. Відхилення від паралельності допускається не більше 0,5 мм по розміру зразка. Межа міцності при розтягуванні  $\sigma_p$  визначається за формулою:

$$\sigma_p = \frac{P}{h \cdot \lambda}, \text{ МПа}, \quad (2.3)$$

де  $P$  – руйнуюче навантаження, Н;

$h$  – товщина зразка, м;

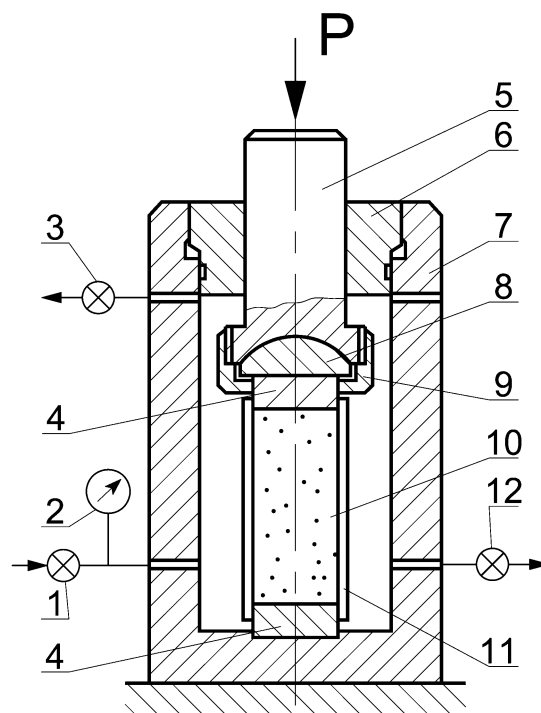
$\lambda$  – довжина лінії розколу, м.

Випробування гірських порід на розрив і стиснення найчастіше проводиться багаторазовим розколюванням пластини зразка клинами і

роздавлюванням отриманих після розколювання кубиків напівправильної форми з лінійними розмірами паралельних площин 20x20x20 мм.

### 2.1.2 Визначення міцності при об'ємному стисненні

Порядок проведення досліджень регламентований ГОСТ 21153.8-88. Циліндричний або призматичний зразок з розмірами встановленими за табл. 2.1, розміщують у камері об'ємного стиснення, принципову схему якої наведено на рис. 2.2 і створюють в ній гідростатичний тиск на його бічні поверхні, що забезпечує по ГОСТ 21153.2-84 співвісне осьове навантаження зразка (відхилення від співвісності не більше 0,5 мм) через сталеві плити. В якості робочої рідини в гідравлічній системі використовуються технічні масла, гліцерин та ін.



1 - впускний вентиль; 2 - манометр; 3 - вентиль випуску повітря; 4 - сталеві плити; 5 - шток; 6 - кришка; 7 - корпус; 8 - сферична п'ята; 9 - накладна гайка; 10 - зразок; 11 - ізоляція; 12 - випускний вентиль

*Рисунок 2.2 – Схема приладу для випробування порід в об'ємному полі*

**Таблиця 2.1 – Рекомендовані розміри зразка**

Параметр зразка	Розміри при дослідженнях		
	порівняльних	масових	
		рекомендовані	допустимі
Діаметр (сторона квадрата), мм	$42 \pm 2$	$42 \pm 2$	Від 30 до 75
Відношення висоти до діаметра (сторони квадрата), од.	$2,0 \pm 0,1$		

Торцеві поверхні зразка повинні бути плоскими, паралельними одна до одної і перпендикулярними до бічної поверхні. Зразки однієї вибірки повинні мати однакові розміри. Допускаються відхилення значень діаметра (сторони квадрата) кожного зразка від середнього арифметичного по всім зразкам вибірки не більше  $\pm 1$  мм і висоти не більше  $\pm 2$  мм.

Кількість зразків повинна бути не менше чотирьох за умови забезпечення надійності результатів не менше 80% і відносної похибки не більше 20% для масових випробувань і, відповідно, не менше 90% і не більше 10% - для порівняльних випробувань.

Ізольований зразок встановлюють у робочу порожнину камери об'ємного стиснення в зборі з плитами або поміщуючи їх між торцями зразка і опорними торцями навантажувальних елементів камери.

Герметизують робочу порожнину камери і подачею в неї робочої рідини доводять бічний тиск на зразок до значення, заданого умовами.

Підтримуючи задані значення бічного тиску з похибкою  $\pm 5\%$ , навантажують зразок уздовж осі до руйнування рівномірно зі швидкістю навантаження 1-5 МПа/с. Момент руйнування фіксують за максимальним значенням осьового навантаження. Записують значення руйнуючої сили  $P$ , що прикладена до торців зразка, в кН і бічного гідростатичного тиску  $p$  в МПа.

### 2.1.3 Загальні відомості про паспорт міцності

Паспорт міцності гірської породи – це крива, що огинає граничні кола напружень Мора в координатах  $\sigma$  (нормальні) та  $\tau$  (дотичні напруження). Обвідна крива (або паспорт міцності) відповідає стану граничної рівноваги породи.



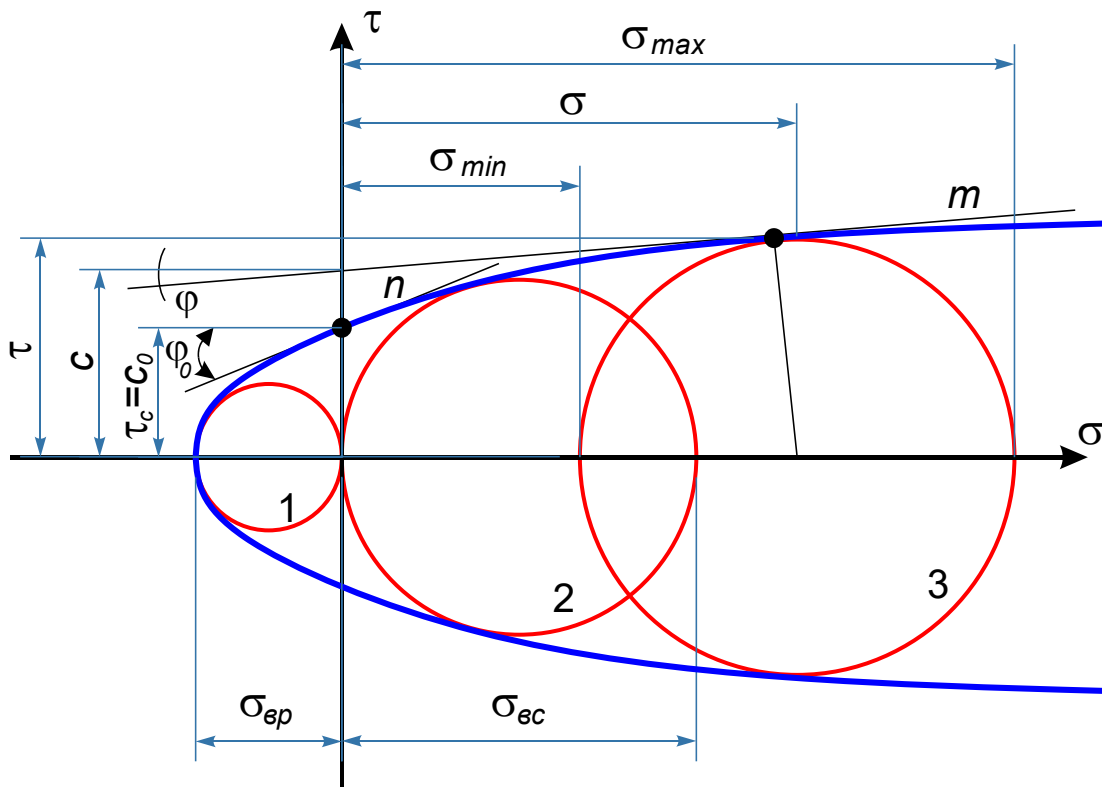
Граничний круг Мора (граничний напружений стан) досягається при співвідношенні найбільшого  $\sigma_{max}$  і найменшого  $\sigma_{min}$  головних нормальних напружень і його радіус

$$R = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2.4)$$

має координати центру

$$\left( \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}, 0 \right) \quad (2.5)$$

На рис. 2.3 наведені найбільш характерні кола Мора, крива, що їх огинає, та окреслено основні параметри, що визначаються за паспортом міцності.



1 – коло одноосьового розтягування; 2 – коло одноосьового стиснення; 3 – коло об'ємного стиснення

Рисунок 2.3 – Паспорт міцності гірської породи.

## 2.2 Метод побудови паспорта міцності за даними визначення меж міцності при об'ємному стисненні, одновісному стисненні і розтягуванні

Для побудови паспорта гірських порід використовують результати визначення меж міцності при об'ємному стисненні  $\sigma_{сж}^0$  не менш ніж при трьох різних значеннях бічного тиску.

**Для побудови необхідно:**

<p><b>а)</b> По сукупності значень <math>\sigma_{сж}^0 = \sigma_{max}</math> і бічного тиску <math>p = \sigma_{min}</math> побудувати сімейство напівкіл з радіусами <math>\frac{\sigma_{сж} - p}{2}</math> з координатами центрів <math>\left(\frac{\sigma_{сж} + p}{2}; 0\right)</math>;</p>	
<p><b>б)</b> Побудувати сімейство півкіл радіусами <math>\frac{\sigma_{сж}}{2}</math> та <math>\frac{\sigma_p}{2}</math> з координатами центрів <math>\left(-\frac{\sigma_p}{2}; 0\right)</math> та <math>\left(\frac{\sigma_{сж}}{2}; 0\right)</math>;</p>	
<p><b>в)</b> Провести огинаючу криву, яка об'єднує всі кола.</p>	



## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ІНДИВІДУАЛЬНИХ РОБІТ

Звіт з індивідуальних робіт повинен містити: титульну сторінку, оформлену за зразком (додаток А), опис методики виконання роботи, розрахунки згідно варіанту завдання, креслення і графічні побудови за необхідністю (якщо вони передбачені в індивідуальній роботі).

Основний текст звіту з індивідуальної роботи оформлюється відповідно до вимог Національного стандарту України «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки: Структура та правила оформлювання. ДСТУ 3008:2015».

Звіт готується у друкованому вигляді на аркушах білого паперу формату А4 (210х297мм). Вимоги до оформлення: шрифт Arial, 14 кегль, інтервал – 1,5; береги: верхній, нижній – 2 см, правий – 1,5 см; лівий – 3 см, з абзацним відступом 1,25 см.

Сторінки звіту слід нумерувати арабськими цифрами у правому верхньому куті сторінки, додержуючись наскрізної нумерації. Титульний аркуш включають до загальної нумерації сторінок звіту, але номер сторінки не проставляють. Графічні додатки та таблиці, розміщені на окремих сторінках, включають до загальної нумерації сторінок звіту.

Оцінка виставляється згідно з робочою програмою навчальної дисципліни.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Galvin, J. M. (2016). Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining, Switzerland, Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-25005-2.
2. Brady, B.H.G. and Brown, E.T. (2005). Rock mechanics for underground mining, 3 edn. New York : Kluwer Academic Publishers. 628 p.
3. Zimmerman, R.W. (2018) Elasticity Theory for Rock Mechanics. Technical Report, 28 p.
4. ASTM D7012-14e1 Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures. URL: <https://www.astm.org/d7012-14e01.html>
5. ASTM D3967-16 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. URL: <https://www.astm.org/d3967-16.html>
6. ASTM D2936-20 Standard Test Method for Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. URL: <https://www.astm.org/d2936-20.html>
7. ASTM D5731-07 (2007) Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications, 11p.
8. ISRM (1983) Suggested methods for determining the strength of rock materials in triaxial compression. Int J Rock Mech Min Sci 20(6):285–290.
9. Labuz, J.F., Zang, A. (2012) Mohr-Coulomb failure criterion. Rock Mech Rock Eng 45(6):975–979.
10. ГОСТ 21153.8-88 Горные породы. Метод определения предела прочности при объемном сжатии. 1988. 16с.
11. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. 1984. 7с.



## ДОДАТОК А

Приклад оформлення титульної сторінки звіту з індивідуальної роботи

ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Кафедра гірничої справи

ІНДИВІДУАЛЬНА РОБОТА №\_\_  
з дисципліни «Фізика та механіка гірських порід»

здобувача вищої освіти за освітньо-  
професійною програмою «\_\_\_\_\_»  
(спеціальність 184 Гірництво)

\_\_\_\_\_  
(П.І.Б.)

група \_\_\_\_\_  
Керівник

\_\_\_\_\_  
(Вчене звання, посада, П.І.Б.)

Запоріжжя 20\_\_



*Навчально-методичне видання*

**Сахно Іван Георгійович**  
**Сахно Світлана Володимирівна**

**ФІЗИКА ТА МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД:**  
**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції