

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ "ФІЗИКА ГІРСЬКИХ ПОРІД"
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
185 "Нафтогазова інженерія та технології"**

Дніпро
2021

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ "ФІЗИКА ГІРСЬКИХ ПОРІД"
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
185 "Нафтогазова інженерія та технології"**

Погоджено рішенням методичної комісії спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» (протокол № 5 від 25.03.2021).

Дніпро
2021

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Фізика гірських порід" для студентів спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології" / Упорядн. А.К. Судаков. - Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. - 40 с.

Упорядник:

А.К. Судаков, д-р. техн. наук, проф.

Лабораторна робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ, ОБ'ЄМНОЇ МАСИ, ШПАРИСТОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

1. Мета роботи

Уміти визначати щільність параметри гірських порід, їхні розмірності.

2. Загальні відомості

Щільнісними властивостями є:

- щільність;
- об'ємна маса;
- шпаристість.

Чинниками, що визначають фізичні властивості порід, є їхній мінералогічний склад і будова. Щільнісні властивості порід і корисних копалин необхідні при розрахунку запасів мінеральної сировини в надрах, продуктивності гірського устаткування, транспортних засобів і т.д.

Маса одиниці об'єму твердої фази (мінерального скелета) породи називається її щільністю ρ_o . Щільність мінералів залежить від їхнього хімічного складу і структури. Маса одиниці об'єму породи в її природному стані відрізняється від маси тієї ж одиниці об'єму, заповненого тільки твердою фазою породи. У гірській справі поряд із щільністю користуються поняттям об'ємної маси ρ .

Об'ємною масою називається маса одиниці об'єму породи при даній шпаристості в її природному стані.

Щільність породи завжди більше її об'ємної маси. Зв'язок між об'ємною масою і щільністю виражається через шпаристість,

$$\rho = \rho_o(1 - K_{\Pi}), \quad \rho_o = \frac{\rho}{1 - K_{\Pi}},$$

де ρ_o - щільність;

K_{Π} - коефіцієнт шпаристості;

ρ - об'ємна щільність.

Шпаристістю називається відносний обсяг усіх пор і пустот, укладений в одиниці об'єму породи природного стану, виражений у відсотках або відносних одиницях,

$$K_{\Pi} = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} \cdot 100\%; \quad K_{\Pi} = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o}.$$

На практиці іноді користуються коефіцієнтом щільності,

$$K_{\Pi\Delta} = \frac{\rho}{\rho_o},$$

де $K_{\Pi\Delta}$ - характеризує ступінь заповнень обсягу гірської породи мінеральною речовиною. Щоб визначити об'ємну масу гірських порід, відбирають зразки масою 20-40 г і висушують їх при температурі 105 – 107 °С до постійної

маси. Зразки парафінують і вдруге зважують, масу нитки і парафіну враховують. Знаючи об'ємну масу парафіну, знаходять його об'єм і віднімають від об'єму зразка гірської породи.

Якщо гірська порода не убирає вологу, її можна но парафінувати. У цьому випадку роблять такі операції:

- зважують зразок у повітрі, m ;
- зважують зразок у воді, m_1 ;
- визначають об'єм зразка,

$$V_{об} = \frac{m - m_1}{\gamma_0^B},$$

де γ_0^B - щільність води при 4°C , дорівнює 1 г/см^3 .

Визначають об'ємну масу зразка,

$$\rho = \frac{m}{V_{об}}, \text{ г/см}^3.$$

Щільність гірської породи визначається за допомогою пікнометра (колби точного обсягу), у г/см^3 .

Її обчислюють за формулою

$$\rho_0 = \frac{(m_2 - m_1)\rho_{ж}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)},$$

де m_1 - маса пікнометра, г;

m_2 - маса пікнометра з навішенням, г;

m_3 - маса пікнометра з навішенням і водою, г;

m_4 - маса пікнометра з водою, г;

$\rho_{ж}$ - щільність води (рівна одиниці).

Для рішення багатьох практичних задач необхідно знати насипну щільність і коефіцієнт розпушення породи.

Насипною щільністю гірської породи називається маса одиниці об'єму розпушеної породи,

$$\rho_n = \frac{m}{V_p},$$

де ρ_n - насипна щільність породи, кг/м^3 ;

m - маса розпушеної породи, кг;

V_p - обсяг розпушеної породи, м^3 .

Коефіцієнт розпушення характеризується збільшенням об'єму породи в результаті її руйнування (розпушення) і визначається з виразу

$$K_p = \frac{V_p}{V},$$

де K_p - коефіцієнт розпушення породи;

V_p - обсяг розпушеної породи, м^3 ;

V - обсяг породи в щільному стані.

Коефіцієнт розпушення вугілля знаходиться, в основному в межах 1,2-1,5 осадових порід типу пісковників, алевролітів і аргілітів - 1,4 - 2,2, метаморфічних порід - 1,8 - 2,5.

Щільність мінералів і гірських порід залежить від їхнього хімічного складу і будови і вимірюється в межах $(1,5-22,5) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

За щільністю всі мінерали діляться на три групи:

- легкі $\rho_o < 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;
- середні $\rho_o = (2,5-4,0) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;
- важкі $\rho_o > 4,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Об'ємна щільність більшості гірських порід змінюється від $1,3 \cdot 10^3$ до $3,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Велику об'ємну щільність мають руди, а особливо які містять залізо $\rho = 7,88 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, кобальт $\rho = 8,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, молібден $\rho = 10,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Низьку об'ємну щільність мають гідрохімічні осадки - гіпс, кам'яна сіль. Найбільш низкою є об'ємна щільність торфу, бурого вугілля.

3. Устаткування і матеріали

1. Запарафінований зразок гірської породи неправильної форми.
2. Здрібнений порошок цієї породи.
3. Двоє технічних ваг і гирки до них.
4. Посудина з водою, у якій провадиться гідростатичне зважування.
5. Підставка під посудину.
6. Пікнометр (мірна колба).

4. Порядок виконання роботи

а) Визначення об'ємної маси породи.

1. Одержати гирки, запарафінований зразок і подрібнену породу.
2. Заповнити посудину (банку) водою на 80-90% і поставити на підставку малих ваг.

3. Запарафінований зразок неправильної форми зважити на великих вагах, тобто вага парафіну і нитки не враховувати.

4. Зробити гідростатичне зважування (m_1) зразка і відповідно до закону Архімеда визначають об'єм породи,

$$V_{об} = \frac{m - m_1}{\gamma_o^B} = \frac{m_o}{\gamma_o^B}.$$

5. Визначають об'ємну щільність порід,

$$\rho = \frac{m}{V_{об}}, \text{ г/см}^3.$$

б) Визначення щільності порід.

1. Зважити сухий чистий пікнометр, m_1 .
2. Заповнити водою до мітки зважений пікнометр і вдруге зважити, m_4 .
3. Зважити навішення - 10 г подрібненої породи і пересипати в порожній пікнометр, попередньо виливши воду, $m_{нав}$.
4. Визначити вагу пікнометра і навішення,

$$m_2 = m_1 + m_{нав}$$

5. Пікнометр із порошком заповнити водою до половини і збовтуванням видалити повітря із суміші, додавши воду дрібними краплями до мітки, і зробити зважування, m_3 .

6. Визначити щільність породи,

$$\rho_o = \frac{(m_2 - m_1)\rho_{ж}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$$

7. Визначити шпаристість гірської породи, %,

$$\Pi = \frac{\rho_o - \rho}{\rho_o} \cdot 100\%.$$

8. Визначити коефіцієнт щільності,

$$K_{пл} = \frac{\rho}{\rho_o}$$

9. Вихідні дані і результати визначення щільності показників гірських порід занести в таблицю.

Таблиця 1.1 - Результати заміряних та розрахункових величин

№ зразка	Маса, кг				Об'ємна щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$,	Щільність породи, $\text{кг}/\text{м}^3$,	Шпаристість, Π , %	Коротка характеристика породи	Коефіцієнт щільності $K_{пл}$
	Сухого пікнометра, m_1	Пікнометра з породою, m_2	Пікнометра з породою і водою, m_3	Пікнометра з водою, m_4					

5. Контрольні питання

1. Що називається щільністю гірської породи ?
2. У чому полягає сутність пікнометричного засобу визначення щільності гірської породи ?
3. Що називається об'ємною масою гірських порід ?
4. Що називається шпаристістю?
5. Що називається коефіцієнтом щільності ?
6. Як визначають об'ємну масу ?
7. У чому сутність гідростатичного зважування ?
8. Що більше за абсолютною величиною - щільність чи об'ємна маса ?
9. Зазначити основну область використання щільності властивостей порід у гірській справі ?
10. Яким законом керуються при визначенні об'ємної маси ?

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ТРИВКОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ОДНООСЬОВИЙ СТИСК НА ЗРАЗКАХ ПРАВИЛЬНОЇ ФОРМИ

1. Мета роботи

Вміти визначати межу тривкості на одноосьовий стиск на зразках правильної форми і коефіцієнт міцності за класифікацією гірських порід за шкалою професора М.М. Протод'яконова.

2. Загальні відомості

Межа тривкості гірської породи на одноосьове стискання є одним з основних міцневих параметрів. Міцнева характеристика гірських порід визначає спроможність порід опиратися зовнішнім руйнуючим навантаженням.

Найбільш широко використовується гірничо-технологічний параметр - міцність порід, що характеризує відносну опірність породи руйнуванню.

Професором М.М. Протод'яконовим була розроблена класифікація гірських порід за коефіцієнтом міцності. Цей показник добре корелюється з іншими видами параметрів механічного руйнування порід, тому він знайшов широке застосування в гірничій практиці.

Тепер за коефіцієнтом міцності вибирають механізми для відбою корисної копалини або порід, що вміщують корисну копалину, розраховують сталість гірських виробок і види кріплень, витрату вибухових речовин при проходці гірських виробок вибуховим способом і в багатьох інших випадках.

За шкалою Протод'яконова всі гірські породи за ступенем міцності діляться на 10 категорій. Перша категорія відповідає найвищому ступеню міцності (найбільш щільні, міцні і в'язкі базальти, кварци та інші породи). Десята категорія - найбільш слабкі пливучі породи. Перша категорія має коефіцієнт міцності 20, десята - 0,3. Усі породи, що мають межу тривкості на стискання $200 \text{ м/м}^2 = 200 \text{ МПа}$ і більше, відносять до I-ї категорії, а породи, що мають межу тривкості менше 3 МПа - до 10-ї категорії.

Коефіцієнт міцності визначається за формулою

$$f_{\text{кр}} = \frac{[\sigma_{\text{сж}}]}{10^7},$$

де $\sigma_{\text{сж}}$ - межа тривкості гірських порід на одноосьове стискання, Па.

Таким чином, міцність у практичних розрахунках визначає цілком певний фізичний параметр - межа тривкості порід на одноосьове стискання.

Тривкість гірських порід у великій мірі залежить від микро- і макродефектів будови, основними із яких є тріщини, борозни ковзання, дзеркальні поверхні, контакти прошарків.

З мінералів, що утворюють породи, одним із найбільш тривких є кварц. Тому гірські породи, що містять кварц, характеризуються підвищеною тривкістю. Низькою тривкістю володіють породи, що містять слабкі мінерали, наприклад, каолінит, хлорит, слюда.

Тривкість зцементованих порід визначається тривкістю як цементу (матриці), так і заповнювача.

Гірські породи добре опираються напругам стискання і значно гірше - напругам розтягання. Межі тривкості при розтяганні для більшості порід у 8-10 разів менше, ніж при стисканні.

Для гірських порід характерна залежність

$$\sigma_{сж} > \sigma_{ск} > \sigma_p,$$

де $\sigma_{ск}$ - тривкість на сколювання, МПа.

Межа тривкості гірських порід на одноосьове стискання визначається на зразках правильної форми за Держстандартом 211530-75. Для визначення межі тривкості приймається не менше 8 зразків. Для іспитів виготовляються зразки циліндричної форми з відношенням $h=d$ або кубічної форми зі стороною, яка дорівнює 50 мм.

Відхилення цих розмірів припускається в межах $\pm 5\%$. Торцева поверхня опрацьовується на шліфувальному колі. Відхилення від рівнобіжності не повинно перевищувати 0,05 мм за діаметром зразка, а опуклість зразків на торцевих поверхнях - не перевищувати 0,03мм.

Не менш важливе значення має коефіцієнт варіації, що повинен знаходитися в межах 30%. Він характеризує неоднорідність порід. Якщо коефіцієнт варіації більше 30%, необхідно збільшити кількість дослідів.

Середнє значення межі тривкості на одноосьове стискання знаходять за формулою

$$\sigma_{сж.ср} = \frac{1}{n} \sum \sigma_{сж.i}, \text{ Па}$$

де n - число дослідів зразків;

$\sigma_{сж.i} = \frac{P_{\max.i}}{S_i}$ - межа тривкості зразка;

$P_{\max.i}$ - максимальна стискальна сила, при якій відбулося руйнування зразка;

S_i - площа поперечного перетину зразка.

Максимальна стискальна сила знаходиться за формулою

$$P_{\max} = \alpha F, \text{ Н}$$

де α - показання стрілки манометра в момент руйнування, помножене на ціну поділки;

F - площа поршня преса.

Середнє квадратичне відхилення від середнього знаходять так:

$$(\Delta i)^2 = (\sigma_{сж.ср} - \sigma_{сж.i})^2, \text{ Па}^2$$

Стандартна помилка визначення середнього значення межі тривкості на одноосьове стискання визначається за формулою

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\Delta i)^2}{n-1}}.$$

Усі ці розрахунки необхідні для обчислення розміру коефіцієнта варіації, що показує у відсотках міру розсіювання поодиноких результатів дослідів навколо середнього.

Коефіцієнт варіації визначається за формулою

$$V = \frac{\delta}{\sigma_{сж.ср}} 100, \% .$$

3. Порядок виконання роботи

а) Визначають ціну поділки манометрів.

б) Отримавши зразки в лаборанта, встановлюють один із них між двома пластинами в центрі опорної плити в коробці (рис.1).

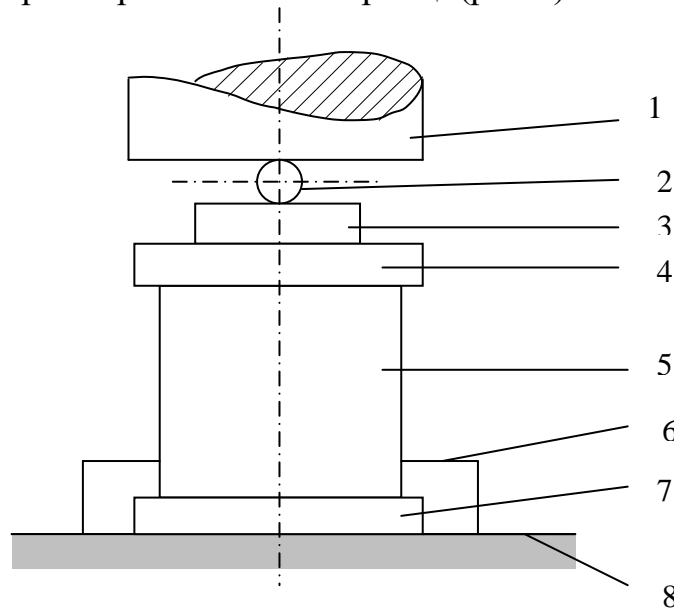


Рисунок 2.1 - Схема установки зразка:

1. Верхня плитка преса.
2. Металева кулька.
3. Металева болванка.
4. Верхня металева пластина для рівномірного розподілу навантаження на зразок.

5. Зразок гірської породи.
6. Металева коробка для збору зруйнованої породи.
7. Нижня металева пластина.
8. Нижня опорна плита преса.

в) Закривають масляний краник циліндра преса, важелем насоса підвищують тиск у межах $(5,0-10,0) \cdot 10^5$ Па/с, обрану швидкість навантаження зберігають до руйнування зразка. У момент руйнування зразка фіксують максимальний тиск за стрілкою манометра преса α .

г) Визначають вертикальну стискальну силу, Р в Н.

д) Усі результати дослідів опрацьовують і заносять у таблицю.

Таблиця 2.1 - Результати заміряних та розрахункових величин

№ п/п	Розміри зразків, см	Площа поперечного перетину, см ²	Показник манометра, кг/см ²	Вертикальна стискальна сила, Р, Н	Межа тривкості на стикування, $\sigma_{сж.} \cdot 10^5 \text{ Па}$		Коефіцієнт міцності,	Відхилення від середнього значення	Середнє квадратичне відхилення	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації, V, %
					$\sigma_{сж.і}$	$\sigma_{сж.ср}$					

е) За таблицею Протод'яконова визначають: категорію, коефіцієнт міцності породи і дають стислу її характеристику.

4. Устаткування і матеріали

1. Гідравлічний прес із манометром.
2. Прокладки - плоскі металеві пластини.
3. Зразки гірської породи.
4. Металева коробка.

5. Контрольні питання

1. Що таке межа тривкості ?
2. Формула визначення коефіцієнта міцності гірських порід ?
3. Які міцневі характеристики вивчаються в роботі ?
4. Характеристика таблиці Протод'яконова?
5. Розміри і форми зразків гірської породи для дослідів.
6. Припустимі відхилення в розмірах зразків кубічної і циліндричної форми.
7. Де використовуються міцневі характеристики гірських порід ?
8. Коефіцієнт варіації. Формула.
9. Що необхідно зробити, якщо коефіцієнт варіації більш 30% ?
10. Як визначається максимальна вертикальна стискальна сила, при якій відбувається руйнування зразків ?
11. Від чого залежить тривкість гірських порід ?

Лабораторна робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ АКУСТИЧНИХ І ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКА

1. Мета роботи

Уміти визначати пружні властивості гірських порід, як-от: швидкість по-
довжньої хвилі, питомий хвильовий опір, модуль Юнга, модуль зсуву і коефіцієнт
Пуассона за допомогою ультразвуку.

2. Загальні відомості

Оскільки пружна хвиля являє собою поширення в речовині деформації, то в залежності від їхнього виду виділяють хвилі різноманітних типів. Деформації наперемінного подовжнього стискання і розтягування обумовлюють поширення в речовині подовжніх пружних коливань. Подовжні хвилі поширюються в будь-якому середовищі - газах, рідинах і твердих тілах, тому що всі речовини мають опір об'ємному стисканню. Кожному виду напруг (стисканню, розтягуванню, зсуву) відповідає коефіцієнт пропорційності між напругами і пружними деформаціями, що є пружним параметром породи.

Коефіцієнт пропорційності між чинною пружною нормальною напругою (стискальною або тією, що розтягує) σ і відповідною до нього відносною деформацією ε називається модулем пружності або модулем Юнга: $\sigma = E\varepsilon$.

Коефіцієнт пропорційності між дотичною напругою τ і відповідною деформацією зсуву δ зветься модулем зсуву, $\tau = G\delta$.

Модуль Юнга і модуль зсуву відповідають основним видам напруг і деформацій і тому вважаються основними механічними характеристиками породи.

На практиці часто користуються ще одним пружним показником породи - коефіцієнтом Пуассона μ -коефіцієнтом пропорційності між відносно подовжніми $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ і відносно поперечними деформаціями $\delta = \frac{\Delta d}{d}$. Формула для визначення виглядає так

$$\mu = \frac{\Delta d}{d} : \frac{\Delta l}{l} = \frac{\delta}{\varepsilon};$$

Коефіцієнт Пуассона - величина безрозмірна.

При порушенні коливань у твердих тілах виникає декілька типів хвиль, основні з яких подовжні і поперечні хвилі зі швидкостями, що формуються, в основному, модулями пружності E і модулями зсуву G відповідно.

Основними акустичними характеристиками гірських порід є:

- швидкість поширення пружних коливань C_p , що визначається, в основному, щільністю і пружними властивостями середовища;
- питомий хвильовий опір, рівний добутку щільності середовища на швидкість хвилі ρC_p ;
- коефіцієнт загасання пружних коливань α .

Відповідно до теорії пружності, подовжні хвилі поширюються в необмеженому твердому ізотропному середовищі зі швидкістю

$$C_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}, \quad \text{м/с}$$

де E - модуль Юнга, Па;

ρ - щільність породи, кг/м³;

μ - коефіцієнт Пуассона.

Це максимальна швидкість поширення пружних коливань у твердих тілах. Таким чином, вимірявши швидкість, ми маємо можливість визначити модуль Юнга при відомому коефіцієнті Пуассона.

Модуль пружності більшості гірських порід знаходиться в межах від 109 до 1011 Па, а коефіцієнт Пуассона - 0,2-0,45.

Одиниця питомого хвильового опору називається акустичним омом (Н/м²с).

Вимір швидкості пружних хвиль проводиться за допомогою ультразвукового імпульсного приладу УК-14П, принцип роботи якого полягає в такому:

1. Генератор УЗК виробляє короточасні електричні імпульси, які перетворюються передавальним п'єзоелектричним вібратором (шукальною голівкою) в механічні ультразвукові коливання відповідної частоти і через щільний акустичний контакт передаються в досліджуваній виріб.

2. УЗК, що пройшли досліджуваній виріб, впливають на приймальну шукальну голівку, перетворюються в електричні коливання і, пройшовши тракт посилення, подаються на електронно-променевої індикатор.

3. Відстань між прийнятим і посланим сигналом залежить від швидкості поширення УЗК у матеріалі і довжини контрольованого виробу (у нашому випадку "керна").

4. Вимірявши запізнювання за часом прийнятого сигналу щодо переданого і знаючи довжину керна, можна швидкість поширення УЗК у досліджуваному матеріалі визначити за відомою формулою

$$C = \frac{l}{t} \cdot 10^3,$$

де C - швидкість поширення УЗК, м/с;

l - довжина досліджуваного виробу (керна), мм;

t - час поширення УЗ імпульсів, мкс.

Довжину досліджуваного виробу (керна) можна виміряти з достатнім ступенем точності штангенциркулем.

Отже, вимір швидкості поширення УЗК у матеріалі зводиться до виміру часу.

Вимір часу в приладі провадиться шляхом безпосереднього відліку в мкс за положенням перемикачів дискретного відліку "X10³", "X10²", "X10", "X1", "X0", "1".

Порядок виміру часу проходження ультразвука через зразок (керна) показує викладач, що веде заняття.

3. Порядок виконання роботи

1. Роблять обмірювання зразків із точністю до 1 мм і обчислюють об'єм,

$$V = abc, \text{ см}^3 \text{ або}$$

$$V = \pi r^2 l, \text{ см}^3.$$

2. Усі зразки зважують на технічних вагах із точністю до 1 г і визначають об'ємну щільність зразка, г/см³

$$\rho = \frac{m}{V},$$

де m - маса породи, г;

V - обсяг породи, см³.

3. Об'ємну щільність перекладають у розмірність кг/м³, $\frac{10^{-3}}{10^{-6}}$.

4. Зразок затискають між шукальними голівками приладу ДУК-20 і визначають час проходження ультразвуку через зразок, мкс.

5. Визначають швидкість поширення пружних коливань у кожному зразку.

$$C_p = \frac{l}{t},$$

де l - довжина зразка, м;

t - час поширення ультразвуку у зразку, с

$$1 \text{ мкс} = 10^{-6} \text{ с.}$$

6. Визначають модуль Юнга з формули

$$C_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}},$$

припускаючи, що коефіцієнт Пуассона $\mu = 0.25$.

7. Обчислюють модуль зсуву σ за формулою

$$\sigma = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

8. Визначають розмір питомого хвильового опору

$$z = \rho C_p$$

9. Всі результати заносять у таблицю.

Таблиця 3.1 - Результати заміряних та розрахункових величин

№ зразків	Найменування породи	Розміри зразків	Обсяг, см ³	Об'ємна щільність, ρ г/см ³	Маса, г	Об'ємна щільність, кг/м ³	Час, t, с	C_p , м/с	Коеф. Пуассона, μ	E, Н/м ²	G, Н/м ²	Z, н/м ² С

4. Устаткування і матеріали

1. Прилад уК-14П.
2. 3-4 зразка гірської породи.
3. Технічні ваги і гирки.
4. Штангенциркуль.

5. Контрольні питання

1. Що можна визначити у виробничих умовах за допомогою акустичних методів ?
2. Визначення модуля пружності (модуля Юнга) і його формула.
3. Визначення модуля зсуву і його формули.
4. Визначити коефіцієнт Пуассона.
5. Чи поширюються поперечні хвилі в газах і рідинах? Чому?
6. Основні акустичні характеристики гірських порід.
7. У яких межах знаходиться модуль пружності більшості порід ?
8. Як називається одиниця питомого хвильового опору порід ?
9. У яких межах знаходиться коефіцієнт Пуассона більшості гірських порід ?

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗЧЕПЛЕННЯ І КУТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

1. Мета роботи

Уміти визначати основні характеристики гірських порід:

- гранична напруга зсуву;
- кут внутрішнього тертя;
- коефіцієнт внутрішнього тертя;
- показник зчеплення.

Уміти побудувати обгинаючу кіл Мору.

2. Загальні відомості

Характеристикою тривкості породи є опір зсуву, визначений двома показниками: внутрішнім тертям і зчепленням.

Внутрішнє тертя являє собою силу взаємодії при деформації між мінеральними частками при нормальній нарузі від зовнішнього навантаження.

Зчеплення являє собою ту частину опору зсуву, що не пов'язана з напругою від зовнішнього навантаження, а визначається тільки молекулярними зв'язками і є величиною постійною для даного типу гірської породи.

Повний опір породи зсуву виражається сумою розміру внутрішнього тертя ($\sigma_n \operatorname{tg} \rho$), викликаного зовнішніми силами, і зчепленням (k)

$$\tau = k + \sigma_n \operatorname{tg} \rho,$$

де ρ - кут внутрішнього тертя;

$\operatorname{tg} \rho$ - коефіцієнт внутрішнього тертя.

Цей вираз описує дотичну до кола максимальних дотичних напруг і називається паспортом тривкості. Воно характеризує граничний стан породи при руйнування. Кут внутрішнього тертя залежить від речовинного складу породи, будові, вологості і виду напруженого стану. Зволоження порід і збільшення утримання в них глинистих мінералів призводить до зменшення кута внутрішнього тертя, тому що ці чинники сприяють ковзанню однієї частини породи щодо іншої. Для сипучих порід кут внутрішнього тертя відповідає кутові природного укосу.

Тангенс рогу внутрішнього тертя називається коефіцієнтом тертя. Зчеплення породи $K_{\text{сч}}$ - називається межею тривкості при зрізі (зсуві) в умовах відсутності нормальної напруги. Цей показник не залежить від нормальних напруг. Зчеплення в осадових зцементованих породах знаходиться в межах $20 \cdot 10^5 - 200 \cdot 10^5$ Па.

Для глин зчеплення складає $(2,5 - 10,0) \cdot 10^5$ Па.

Для досліджень на зріз використовуються кубики розміром $50 \times 50 \times 50$ мм або циліндричні зразки діаметром 42 мм і висотою 42 мм.

У цій роботі використовуються цементно-піщані кубики розміром $50 \times 50 \times 50$ мм. Дослідження проводиться на 7-тонному гідравлічному пресі за допомогою нахилених матриць із кутами зрізу $\alpha_1 = 40^\circ$, $\alpha_2 = 50^\circ$.

При навантаженні зразків стискальною силою на косій площадці зсуву виникають такі напруги (рис. 2):

$$\tau = \frac{P}{S} \cdot \sin \alpha; \quad \sigma_n = \frac{P}{S} \cdot \cos \alpha,$$

де τ - дотична напруга в аналізованій площині, Па;

σ_n - нормальна напруга, Па.

Треба пам'ятати, що кут тертя не збігається з кутом нахилу матриць. Кут нахилу матриць задає положення площині майбутнього зрізу, у якій розмір зсувного зусилля буде змінюватися в залежності від коефіцієнта тертя і величини зчеплення.

Зробивши зсув при двох кутах нахилу α_1 і α_2 можна визначити τ , σ_n , $\operatorname{tg} \rho$, ρ , k і $R_{\text{сж}}$ і побудувати круговий графік напруг для граничної рівноваги.

Дотична, проведена до кола напруг з урахуванням величини зчеплення порід, описується рівнянням граничної рівноваги $\tau = k + \sigma_n \operatorname{tg} \rho$ і визначає граничний стан порід по тривкості.

Коефіцієнт внутрішнього тертя, кут внутрішнього тертя, показник зчеплення і межа тривкості на стиск визначається за такими формулами:

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\sigma_{n1} - \sigma_{n2}}, \quad \rho = \operatorname{arctg} \rho,$$

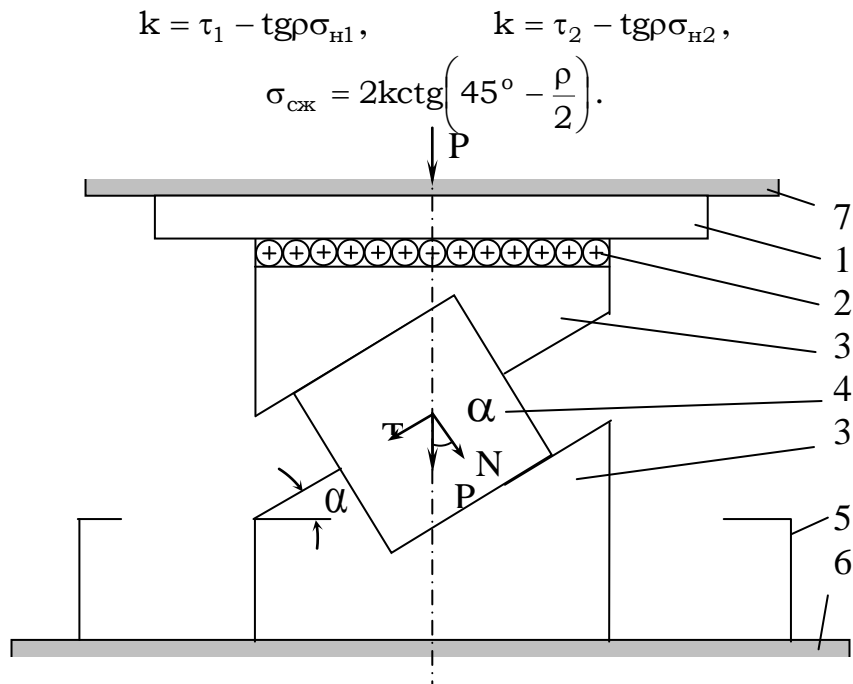


Рисунок 4.1 - Схема установки зразка породи

1. Подовжня металева платівка.
2. Роликова каретка (підшипник).
3. Матриці.
4. Зразок гірської породи.
5. Металева коробка.
6. Нижня рухлива давильна плита преса.
7. Верхня рухлива давильна плита преса.

Межа тривкості на стиск - це критичне значення одноосьової стискальної напруги, при якому відбувається руйнування породи, Па. Вона визначається аналітично або графічно з кола О. Мора, а також при самостійному дослідженні породи на одноосьове стискання.

Використовуючи результати досліджень породи на зсув, можна побудувати коло максимальних дотичних напруг і паспорт тривкості, за допомогою якого вирішуються багато гірничо-технічних питань.

Дотична, проведена до кола максимальних дотичних напруг зветься паспортом тривкості.

3. Порядок виконання роботи

1. Випробовуваний зразок породи вкладають у матрицю (рис.4.1).
2. Закривають масляний кран циліндра преса, важелем насоса підвищують тиск у межах $(5,0-10,0) \cdot 10^5$ Па за секунду. Навантаження підвищують безупинно до руйнування зразка. У момент руйнування фіксують максимальний тиск за стрілкою манометра преса.
3. Визначають тиск преса на зразок $p = 1,0a \cdot F$,
де p - вертикальна стискальна сила, Н;
1,0 - ціна поділки манометра;
 a - показник стрілки манометра під час руйнування зразка, Па;

F - площа поршня преса.

4. Визначають дотичну і нормальну напругу для зразків, зруйнованих під кутами α_1 і α_2 :

$$\tau_1 = \frac{P_1}{S} \cdot \sin \alpha_1; \quad \sigma_{н1} = \frac{P_1}{S} \cdot \cos \alpha_1,$$

$$\tau_2 = \frac{P_2}{S} \cdot \sin \alpha_2; \quad \sigma_{н2} = \frac{P_2}{S} \cdot \cos \alpha_2,$$

де S - площа зразка гірської породи

$$\sin \alpha_1 = \cos \alpha_2 = 0,6428$$

$$\sin \alpha_2 = \cos \alpha_1 = 0,7660$$

5. Обчислюють усі значення і заносять у таблицю. Усі розрахунки повинні бути приведені в звіті.

Таблиця 4.1 - Результати заміряних та розрахункових величин

Кут нахилу матриці	a - показник манометра, Па	p - вертикальна стискальна сила, Н	S - площа зразка, см ²	Дотична напруга, Па	Нормальна напруга, Па	K - показник зчеплення, Па	tg p - коефіцієнт внутрішнього тертя	Кут внутрішнього тертя	Межа тривкості на стиск, Па
α_1									
α_2									

6. За отриманими даними будують коло напруг О. Мора (рис. 4.2).

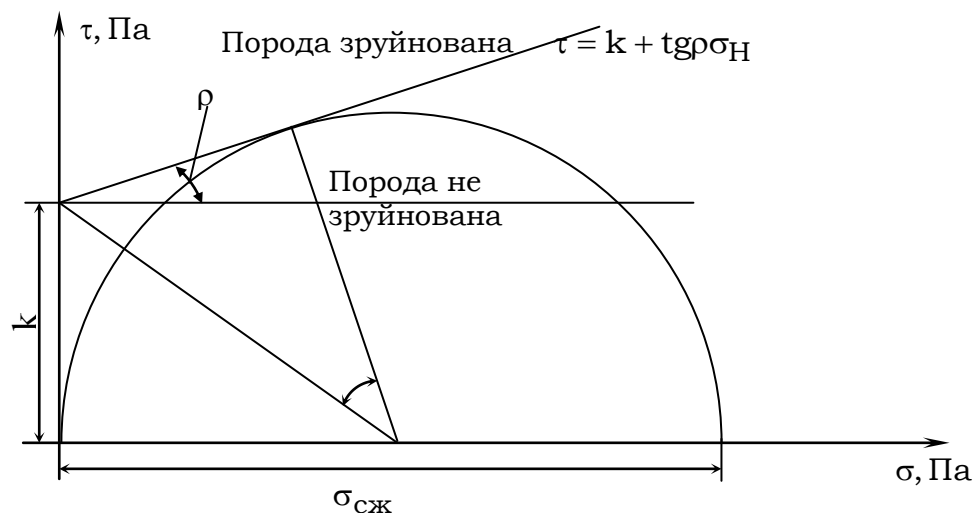


Рисунок 4.2 - Коло Мора

4. Устаткування та інструмент

1. Гідравлічний прес із манометром.
2. Похилі матриці з кутом нахилу.

3. Пласкі металеві плитки.
4. Роликовий підшипник.
5. Два зразки гірської породи.
6. Металева коробка для збору зруйнованої породи.

5. Контрольні питання

1. Які параметри гірських порід вивчаються в цій роботі ?
2. Як визначається навантаження на зразок ?
3. У яких межах підвищується тиск на зразок ?
4. Визначення кута внутрішнього тертя.
5. Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя.
6. Що таке показник зчеплення ?
7. Дайте аналіз формули $\tau = k + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \rho$.
8. Як впливає вологість на тривкість породи ?
9. Для рішення яких гірничо-технічних задач необхідно знати міцнєві параметри порід ?
10. Накресліть паспорт тривкості сипкої породи.
11. Для чого в роботі застосовується роликовий підшипник ?
12. При якій умові починається процес зрізу (зсуву) гірської породи ?

Лабораторна робота 5

ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ І ГРАНИЧНОЇ РОБОТИ УДАРНОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

1. Ціль роботи

Навчитися визначати ударну в'язкість і питому роботу ударного руйнування на маятниковому копрі.

2. Загальні відомості

Робота, витрачена на руйнування зразка, визначається за формулою

$$\Delta A = Y(h - h_1),$$

де Y - маса маятника, кг; $Y=13,1$ кг;

h - висота підйому центра ваги маятника відносно точки зустрічі зі зразком до удару, см;

h_1 - висота підйому центра ваги маятника відносно точки зустрічі зі зразком після удару, см.

Основною характеристикою для розрахунку роботи, витраченої на руйнування породи на маятниковому копрі, є запас енергії маятника, що залежить від його ваги, довжини і висоти підйому відносно точки зустрічі з перешкодою.

Довжина маятника (L) являє собою відстань від маятника до його центра ваги або геометричного центра, що збігаються в більшості конструкцій.

Довжину маятника визначають аналітично через період коливання. Періодом коливання T називається період одного повного коливання.

Маятник, піднятий на висоту h , має визначений запас енергії. Після вільного падіння і зустрічі зі зразком породи маятник витративши на руйнування зразка частину енергії піднімається на визначений кут, при якому його центр ваги займе висоту h_1 .

Закріплений на осі маятника поводок при підйомі маятника після руйнування зразка, піднімає стрілку на кут, пропорційний висоті h_1 .

Таким чином, за положенням стрілки можна визначити кути зльоту маятника, пропорційні висоті h і h_1 .

Ударна (динамічна) в'язкість - це відносний показник, що характеризує роботу ударного руйнування, витрачену на одиницю площі поперечного перетину зразка.

Одиниці ударної (динамічної) в'язкості: Дж/м², Ерг/см² або кг/м, кг/см. Співвідношення між ними: 1 Дж/м²=10 Ерг/см²; 1 кгм/м²=9,8 Дж/м².

Одиниця роботи в СІ 1 Дж=1 Нм.

В'язкість - це відносний показник, що характеризує опір породи силам, що прагнуть роз'єднати її. У системі СІ одиниця в'язкості паскаль·секунда (Па·с).

Питому роботу ударного руйнування визначають за формулою

$$z = \frac{\sigma \Delta A}{bk^2}, \quad \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} \right]$$

де $\frac{bk^2}{\sigma}$ - момент опору площі поперечного перетину прямокутного зразка відносно осі, що проходить через його центр ваги паралельно основи, м³.

Питома робота ударного руйнування - це робота, віднесена до моменту опору площі поперечного перетину зразка.

Для обчислення роботи, витраченої на руйнування зразка на маятниковому копрі, використовується пропорційна залежність висот (h і h_1) від кутових змін положення маятника й обчислюється за формулою

$$\Delta A = \gamma L \left[(\cos \beta - \cos \alpha) - (\cos \gamma - \cos \alpha) \frac{\alpha + \beta}{\alpha + \gamma} \right],$$

де L - довжина маятника, м;

α - кут зарядки маятника, град;

β - кут зльоту маятника після руйнування зразка, град;

γ - кут зльоту маятника при холостому ході, град; $\gamma = 42^\circ$.

Довжина маятника L знаходиться за формулою періоду коливання математичного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \text{ відкіля } L = \frac{g}{(2\pi)^2} \cdot T^2,$$

де g - прискорення сили ваги, 981 м/с^2 ;

T - період повного коливання маятника, с.

Період коливань визначається практичним шляхом.

Маятник можна вважати математичним.

Кут зарядки призначається викладачем.

3. Порядок виконання роботи

1. Визначають період коливань маятника, відхиливши маятник на $10-12^\circ$ від вертикального положення і заміривши за допомогою секундоміра час 60-100 коливань

$$T = \frac{\sum t}{n},$$

де $\sum t$ - час коливань, с;

n - кількість коливань.

2. Визначають довжину маятника,

$$L = \frac{g}{(2\pi)^2} \cdot T^2.$$

3. Заряджають маятник на кут α , зазначений викладачем і визначають γ - кут зльоту маятника при холостому ході.

4. Заміривши ширину і товщину зразка, визначають момент опору зразка,

$$W = \frac{bk^2}{\sigma}, \text{ м}^3.$$

5. Встановлюють зразок на опорні ріжки так, щоб удар прийшовся по його широкому боку; зразок повинен щільно прилягати до опор без зазору. Роблять удар.

6. Визначають β - кут зльоту маятника після руйнування зразка.

7. Роблять обчислення:

$$\text{- роботи } \Delta A = \gamma L \left[(\cos \beta - \cos \alpha) - (\cos \gamma - \cos \alpha) \frac{\alpha + \beta}{\alpha + \gamma} \right],$$

$$\text{- ударної в'язкості } Q = \frac{\Delta A}{bk};$$

$$\text{- питомої роботи ударного руйнування } a = \frac{\sigma \Delta A}{bk^2}.$$

Усі розрахунки заносять у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Результати замірянних та розрахункових величин

T , с	L , м	α , град	β , град	γ , град	ΔA , Дж	k , м	b , м	W , м^3	Q , Дж/м^2	A , Дж/м^3	При- мітка

4. Устаткування і матеріали

1. Копер маятниковий з молотом.
2. Секундомір.
3. Зразок гірської породи.
4. Масштабна лінійка.

Копер складається з чавунної основи, на якій укріплені два стояки. На стояках у шарикопідшипниках змонтовано маятник з молотом. Маятник з молотом можна встановити в різноманітних положеннях від основи маятника. Для спуску маятника з будь-якого положення є на шнурку ручка, різким ривком котрої проти годинної стрілки звільняють маятник.

Падаючи, маятник на своєму шляху зустрічає зразок гірської породи, руйнує його і відхиляється далі, тягнучи за собою поводок-стрілку, що і показує кут відхилення. Маятник при оберненому ході варто зупинити рукою.

5. Правила техніки безпеки

1. Працювати без огороження на копрі не дозволяється.
2. Не дозволяється допускати сторонніх осіб до копру при піднятому маятнику.

6. Контрольні питання

1. Що таке запас енергії маятника ?
2. Що таке довжина маятника?
3. Чому довжину маятника визначають аналітично через період коливань?
4. Що таке період коливань маятника?
5. Як створюється запас енергії маятника ?
6. Як визначається робота, витрачена на руйнування зразка породи ?
7. Що таке ударна в'язкість і її ємність ?
8. Що таке в'язкість і її розмірність ?
9. Що таке питома робота ударного руйнування і її розмірність ?
10. Що таке момент опору і його розмірність ?
11. Від чого залежить момент опору поперечного перетину зразка ?
12. Що таке робота і її розмірність ?
13. Чому відхиляють маятник на малий кут при визначенні періоду коливань ?

Лабораторна робота 6

ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ БУРИМОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА МЕТОДОМ ЦНІГРІ

1. Мета роботи

Уміти визначати категорію по буримості гірських порід.

2. Будова приладів і формули для розрахунку коефіцієнта абразивності і динамічної тривкості й об'єднаного показника

1. Прилад для визначення абразивності ПОАП-2М складається з електродвигуна типу АОЛ-21-4 ($n=1400$ об/хв, $N=0,27$ кВт, $V=220/380$ В), муфти, вала, шатунів і робочого органа.

Муфта складається з двох півмуфт, гумового чопа і пальців. Півмуфта вала шатунів виконана у вигляді маховика. Опорами вала служать два кронштейни з підшипниками качення.

Основним елементом приладу є робочий орган, за допомогою якого стираються свинцеві кульки (мисливська дріб) випробуваної породи. У кожному з них розміщуються по три завантажувальних циліндра з оргскла. Корпус із двома припаяними направляючими чопами щільно закривається кришкою і підпірною гайкою. Опорою для робочого органу служить скоба з двома направляючими.

2. Прилад для визначення динамічної тривкості гірських порід (F_d) відрізняється простотою устрою і складається з трубного копра й об'ємометра.

Трубний копер складається зі стакана висотою 100 мм, труби, вантажу й упору. Загальна висота копра 680 мм.

Об'ємометр складається з трубки висотою 175 мм і поршня висотою 190 мм і діаметром 23 мм.

Коефіцієнт абразивності визначається за формулою:

$$k_{абр} = \frac{Q}{100},$$

де $k_{абр}$ - коефіцієнт абразивності гірської породи;

$$Q - \text{витрата маси, мг,} \quad Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}.$$

Показник динамічної тривкості визначається за формулою:

$$F_d = \frac{20 \cdot n}{l},$$

де n - число скидання вантажу;

l - висота стовпчика роздрібної породи, мм.

Об'єднаний показник ρ_m визначається з виразу:

$$\rho_m = 3F_d^{0,8} \cdot k_{абр}$$

За допомогою табл.1 по об'єднаному коефіцієнту ρ_m визначається категорія порід з буримості.

Категорія порід з буримості	Значення об'єднаного показника, ρ_m	Категорія порід з буримості	Значення об'єднаного показника, ρ_m
III	2,00 - 3,00	VIII	15,18 – 22,77
IV	3,00 - 4,50	IX	22,77 - 34,15
V	4,50 - 6,75	X	34,15 - 51,22
VI	6,75 – 10,12	XI	51,22 - 76,83
VII	10,12 – 15,18	XII	76,83 – 115,24

3. Устаткування і матеріали

1. Прилад для визначення абразивності гірських порід ПОАП-2 (2М).
2. Прилад для визначення динамічної тривкості гірських порід.
3. Технічні ваги і гирки.
4. Дріб №5 у кількості 10 штук.
5. Роздрібнена порода з діаметром часток до 0,5 мм у кількості 1 см³ (для ПОАП-2М).
6. Зразок породи обсягом ≈ 100 см³.
7. Секундомір.

4. Порядок виконання роботи

Для визначення абразивності порід за допомогою приладу ПОАП-2М необхідно:

- зняти кришку і прокладку з корпусу робочого органу;
- витягти з корпусу робочого органу завантажувальні циліндри і протерти їх;
- зважити 10 дробинок №5 на аптекарських вагах із точністю до 10⁻² і результати записати з вказанням номера завантажувального циліндра;
- засипати дріб у завантажувальні циліндри (пробірки);
- помістити в кожний завантажувальний циліндр роздрібнену породу з діаметром часток до 0,5 мм у кількості 1 см³;
- надіти кришку з прокладкою на корпус робочого органу і закріпити підпірною гайкою;
- вмикнути прилад і через 20 хв його роботи вимкнути;
- зняти кришку і прокладку з корпусу робочого органу;
- витягти з корпусу завантажувальні циліндри (пробірки) у порядку запису;
- витягти з пробірки дріб і в іншому комплекті пробірок промити водою, струшуючи на приладі протягом трьох хвилин, просушити її при кімнатній температурі;
- установити витрату ваги дробу;
- визначити коефіцієнт абразивності за формулою (6.1).

Для визначення показника динамічної тривкості необхідно:

- випробовуваний зразок породи розбивають на шматки розміром 1,5-2,0 см у поперечнику;
- набирають п'ять проб обсягом по 15-20 см³;
- кожну пробу висипають у сталевий стакан і дроблять шляхом скидання на неї з висоти 600 мм (10 разів) вантажу вагою 2,4 кг;

- усі проби зсипають у металеве сито з отворами 0,5 мм і просівають. Матеріал, що пройшов через сито, поміщають у трубу об'ємометра і легким постукуванням по столу ущільнюють;

- у трубку вставляють до упора поршень і за наявною на ньому шкалою (від 0,0 угорі до 160 мм знизу) роблять відлік у міліметрах;

- показник динамічної тривкості визначають за формулою (6.2).

За формулою (6.3) визначають об'єднаний показник ρ_m .

5. Контрольні питання

1. Загальна будова приладу ПОАП-2М. Назвіть і покажіть основний елемент приладу.

2. Загальна будова приладу для визначення динамічної тривкості.

3. Для чого застосовують прилад ПОАП-2М і об'ємометр ?

4. Порядок роботи на приладі ПОАП-2М і об'ємометр?

Лабораторна робота 7

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД НА ПРИЛАДІ УМГП-3

1. Мета роботи

Уміти визначати твердості й інші параметри механічних властивостей гірських порід на приладі УМГП-3.

2. Загальні відомості

Твердість гірських порід є агрегатна твердість неоднорідного полікристалічного тіла, що залежить від структури і текстури породи, а також від ступеня вологості, температури і напруженого стану породи.

Твердість гірських порід є тим видом тривкості, яку переборюють робочі елементи породоруйнівного інструмента при впровадженні в породу в процесі буріння. Впровадження ж робочих елементів породоруйнівного інструмента у породу забою є головним процесом механізму руйнування гірських порід при бурінні. Тому твердість - є основна міцнева характеристика гірських порід їх руйнування в процесі буріння і основний критерій при визначенні осьових навантажень на породоруйнівний інструмент.

Призначення приладу УМГП-3

Прилад УМГП-3 призначено для визначення механічних властивостей гірських порід методом вдавлювання штампа. Даний метод був розроблений в основному для дослідження поведінки гірських порід у процесі руйнування при бурінні. При вдавлюванні штампа моделюється напружений стан, що виникає в породах під площиною контакту з руйнівним інструментом.

За допомогою вдавлювання штампа можна визначити такі механічні характеристики гірських порід: твердість, умовна межа текучості, коефіцієнт пластичності, питому контактну роботу руйнування і питому об'ємну роботу руйнування.

Принцип дії та будова приладу УМГП-3

Прилад УМГП-3 настільного типу, має електричний привід. Прилад складається з трьох основних вузлів: навантажувального пристосування, електричного індикатора для виміру деформацій і столика для установки випробуваного зразка.

Електродвигун 1 за допомогою ходового гвинта 2 переміщає у вертикальному напрямку ролик 3, через який перекинута тонка сталева стрічка 4, закріплена одним кінцем із важелем 5, а іншим із вантажним маятником 6, що качається на осі 7.

Ніж 8 на малому плечі важеля 5, що має опорою вісь 9, встановлену в шарикоподшипниках, натискає на подушку в траверсі 10, підвішену до штока 11, у нижній частині якої є площадка для штампа 12. З маятником 6 пов'язана ручка 13, яка переміщається вздовж барабана 14, що обертається електричним індикатором. Випробуваний зразок 15 устанавлюється на столику 16, положення якого може регулюватися по вертикалі за допомогою маховика 17 і черв'ячного редуктора 18.

При вмиканні електродвигуна 1 ходовий гвинт 2 починає піднімати ролик 8, унаслідок чого важіль, обертаючись на осі 9, натискає на траверсу 10. Одночасно маятник 6 обертається на вісь 7, створюючи на шток 11 зусилля, пропорційне синусу кута відхилення маятника. Зусилля, що діє на штоку 11, передається на штамп 12, що впроваджується у випробуваний зразок 15, установлений на столику 16.

При цьому на величину упровадження штампа змінюється відстань між опорною поверхнею штока 11 і верхньою поверхнею зразка 15, унаслідок чого переміщається вимірювальна ніжка 19 електричного індикатора.

З механізмом індикатора, за допомогою слідкуючої системи пов'язаний барабан 14, кут повороту якого пропорційний переміщенню ніжки індикатора. При навантаженні штампа за допомогою електродвигуна 1, одночасно з поворотом барабана на величину, пропорційну величині впровадження штампа в зразок, відбувається подовжнє переміщення ручки 13.

На прикріпленій до барабана паперовій стрічці записується крива навантаження - деформація. Положення столика 16, може регулюватися за висотою відповідно до висоти випробуваного зразка маховиком 17. Цей же маховик може бути перемкнутий для ручного підйому ролика 3 у разі потреби ручного інструмента.

Візуальне спостереження за деформацією може провадитися за індикатором 20, а за навантаженням по шкалі 21. Запис деформацій провадиться за допомогою електричного індикатора, основним елементом якого є важіль і контактно-релейне устаткування. Важіль, що складається з двох деталей 22 і 23, пов'язаних між собою пружиною 24, може повертатися на осі 25. На малому плечі важеля на деталі 22 є ніж, що упирається за допомогою пружини 26 в упорну ніжку 19. На кінці великого плеча, утвореного деталлю 23, є контактна пластина, що може замикатися з одним із двох контактів, установлених на голівці 27. Остання може переміщатися за допомогою ходового гвинта 28, пов'язаного карданним валиком із віссю реверсивної муфти. Між конічними шестернями муфти 29 безупинно обертається шестерня 30, пов'язана карданним валом із малопотужним електродвигуном 31. Вал шестерні обертається в двосторонньому важелі 32, що може погойдуватися на осі 33. На кінцях важеля 33 знаходяться якори електромагнітів.

При навантаженні ніжка індикатора переміщається на величину його впровадження в зразок, унаслідок чого ліве плече важеля 23 відхиляється униз і контактна пластина цього важеля замикається з нижнім контактом голівки 27. При цьому вмикається один з електромагнітів 34, що зчіплює шестерню 30 з однієї з конічних шестерен муфти 29 остання починає обертатися і переміщає контактну голівку 27 униз доти, поки контактна пластина важеля 23 не відірветься від нижнього контакту. При розвантаженні штампа контактна пластина замикається з верхнім контактом голівки 27, вмикається інший електромагніт, шестерня 30 входить у зачеплення з іншою конічною шестернею 29 і контактна голівка піднімається нагору до розірвання пластини з верхнім контактом.

При раптовому впровадженні штампа при руйнуванні зразка ліве плече важеля індикатора залишається упертим у контакт, а праве повертається на осі 25 і натягає пружину 24. Це запобігає поломці важеля при ударі.

Двигун навантаження зразка працює безупинно, у той час як барабан переміщається в момент вмикання реверсивної муфти при замиканні контактної пластини з нижнім контактом.

Методика проведення досліджень

Перед початком досліджень необхідно підготувати зразки гірської породи, що звичайно роблять у виді циліндрів висотою 30-50 мм і діаметром 40-60 мм. Після цього підготовляють прилад до роботи і вибирають конструкцію штампів.

Після підготування приладу, зразок установлюється на столику 16. До нижньої поверхні штока 11, злегка змазаної мастилом, притискається штамп 12, потім від руки, маховичком піднімають столик так, щоб поверхня зразка не доходила до робочої поверхні штампа на 0,05-0,08 мм (що перевіряється щупом). Довжину ніжки індикатора регулюють гайкою, яка є у верхній частині ніжки, щоб ніжка доторкнулася до поверхні зразка. Це легко виявляється по загоранню сигнальної лампочки або м'якого клацання реле. Упор кривої ніжки індикатора встановлюється на відстані 5-6 мм від осі штампа.

Після регулювання індикатора включають кнопки "навантаження" і "деформація". У цей момент починається навантаження штампа, а на барабані са-

мописного приладу реєструється навантаження і відповідна йому деформація. На цьому закінчується дослід, прилад зупиняють натискуванням на кнопку "стоп" навантаження.

Для проведення наступного досліду необхідно повернути важіль 5 навантаження в початкове положення, для чого маховичок зрушують управо до відказу й обертають доти, поки гвинт 2 не опуститься в крайнє положення. Потім маховичок засувається на старе місце. Індикатор повертається на нуль автоматично, при вмиканні кнопки "розвантаження", після чого його можна вимкнути натискуванням кнопки "стоп" деформації.

*Опрацювання графіків деформацій і визначення
механічних характеристик*

На рис. 7.1 приведено приклад опрацювання графіка деформацій. З точки *A*, що відповідає моменту руйнування, опускається перпендикуляр на нульову лінію навантаження в точку *E*. Потім через лінійну ділянку кривої деформацій проводиться пряма до перетинання з нульовою лінією в точці *D* і з лінією, що відповідає навантаженню при руйнуванні в точці *B*. З точки *B* також опускається перпендикуляр на нульову лінію в точку *B*. Після цього приступають до визначення чисельних значень різноманітних механічних характеристик.

Зразок № 11

Пісковик середньозернистий VIII категорії

Свердл. № С-33

Чистяковської ГРП

Границя навантажування 500 кг. Діаметр штамп – 1,5 мм.

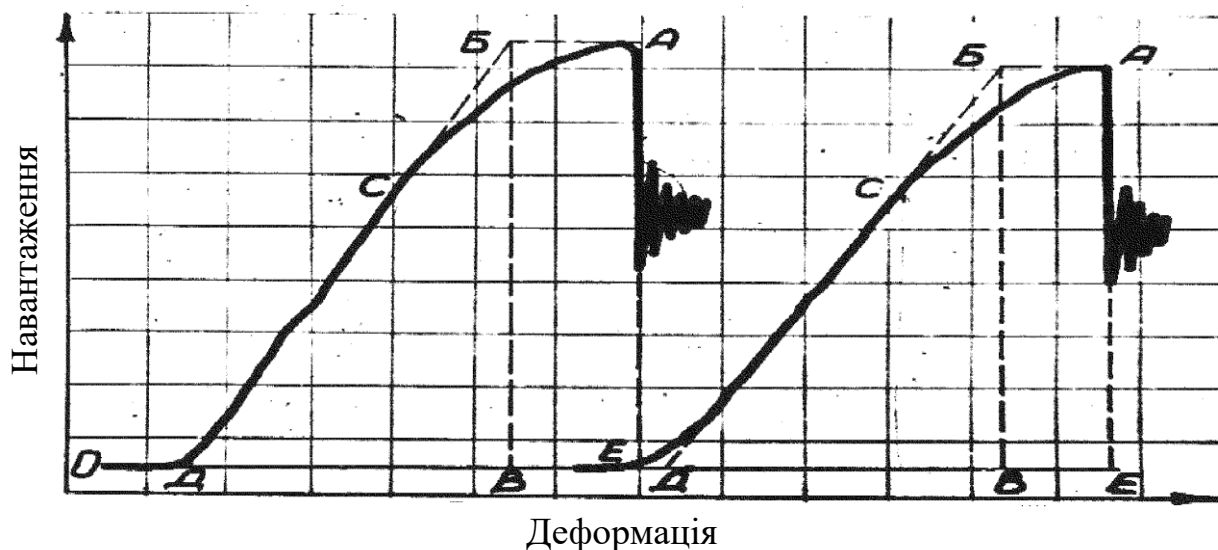


Рисунок 7.1 - Приклад опрацювання графіка деформацій

Для визначення твердості береться навантаження при руйнуванні (точка *A*) і ділиться на площу штамп

$$p_{ш} = \frac{P}{S},$$

де $p_{ш}$ - твердість по штампі;

P - навантаження;

S - площа штампа.

Для визначення умовної межі текучості береться навантаження, при якому крива деформацій починає відхилятися від прямої **БД** (точка **С**). Це навантаження може бути визначене тільки приблизно.

$$p_o = \frac{P_o}{S}$$

де p_o - умовна межа текучості;

P_o - навантаження, що відповідає межі текучості;

S - площа штампа.

Далі визначається загальна робота до руйнування - $A_{об}$, що дорівнює з урахуванням масштабу площі фігури **АСДЕ**, і пружна робота - $A_{уп}$, рівна площі трикутника **БВД**.

Оскільки на графіку записується сума деформацій породи і штампа, то з $A_{об}$ і $A_{уп}$ відраховується та робота, що витрачається на деформацію штампа - $A_{ш}$. Робота, що витрачається на деформацію штампа, обчислюється виходячи з розмірів штампа і модуля Юнга того матеріалу, із якого виготовлений штамп.

Енергетичні характеристики визначаються, виходячи із загальної роботи до руйнування за відрахуванням роботи деформації штампа ($A_{об} - A_{ш}$), площі штампа й обсягу лунок.

Питома контактна робота руйнування

$$A_s = \frac{A_{об} - A_{ш}}{S} \cdot \frac{d_1}{d_2},$$

де d_1 - діаметр штампа, прийнятий за вихідний ($d_1=1 \text{ мм}^2$);

d_2 - діаметр штампа, яким проводилися іспити.

Питома об'ємна робота руйнування

$$A_v = \frac{A_{об} - A_{ш}}{V},$$

де V - середній обсяг лунок.

Модуль Юнга при вдавлюванні штампа визначається виходячи з формули зближення для абсолютно жорсткого штампа

$$\xi_{уп} = \frac{P(1 - \mu^2)}{dE},$$

де $\xi_{уп}$ - пружна деформація;

P - відповідне їй навантаження;

μ - коефіцієнт Пуассона ($\mu = 0,25$);

d - діаметр штампа;

E - модуль Юнга.

$$E = \frac{P(1 - \mu^2)}{d\xi_{уп}}.$$

Завдання

1. Ознайомитися з будовою приладу УМГП-3 і порядком одержання діаграм деформації з його допомогою.

2. Вивчити методику опрацювання діаграм, тобто визначення середніх значень усіх механічних характеристик порід.

3. Зняти 5-6 діаграм деформації по двох - трьох різновидах гірських порід і зробити їхнє опрацювання.

4. Оформити результати експерименту.

Зміст звіту

1. Мета роботи.

2. Принцип дії та будова приладу УМГП-3.

3. Діаграма деформації випробуваного зразка і методика опрацювання даних.

4. Таблиця результатів визначення твердості й інших механічних властивостей гірських порід.

Лабораторна робота 8

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СЕРЕДОВИЩА НА СТИРАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

1. Мета роботи

навчитися визначати міцність гірських порід при стиранні; отримати залежність коефіцієнта стирання гірських порід від властивостей середовища.

2. Загальні відомості.

Прилади й принадлежности: прилад ЛКИ-3; сушильна шафа; технічні ваги і важки; штангельциркуль; щітка.

Матеріали:

1. Зразки гірської породи кубічної форми.

2. Кварцовий пісок з розміром зерен від 0,25 до 0,5 мм.

3. Технічна вода.

4. Розчин ПАР.

ЛКИ-3 (рис.1) складається з чавунного диска діаметром 600 мм, закріпленого горизонтально на вертикальному валу. Швидкість обертання диска 33 хв^{-1} . Для обліку кількості оборотів машина забезпечена лічильником.

Два зразка кубічної форми, розміром $70 \times 70 \times 70 \text{ мм}$, встановлено у гнізда. Притискаються до диска з силою $0,25 \text{ кг/см}^2$.

Зверху диска прикріплено два бачка для автоматичної подачі абразивного матеріалу. Встановлено щітки для змитання продуктів стирання. Вода і розчини ПАР подаються на чавунний диск спеціальними розбризкувачами.

Підготовка зразків.

Підготувати не менше двох зразків кубічної форми розміром $70 \times 70 \times 70 \text{ мм}$ і висушити їх до постійної ваги. Пісок просівається на спеціальних ситах.

Порядок проведення досліджень.

1. Закріпити зразки породи і зробити 100-200 оборотів диска, щоб притертися зразок до диска.
2. Очистити щіткою і зважити зразок з точністю до 0,01 грама, а потім визначити штангенциркулем його висоту з точністю 0,5 мм.
3. Заповнити воронки піском і встановити крани в нижній частині воронок так, щоб пісок подавався на коло з розрахунку 5 л на зразок за 2000 оборотів кола.

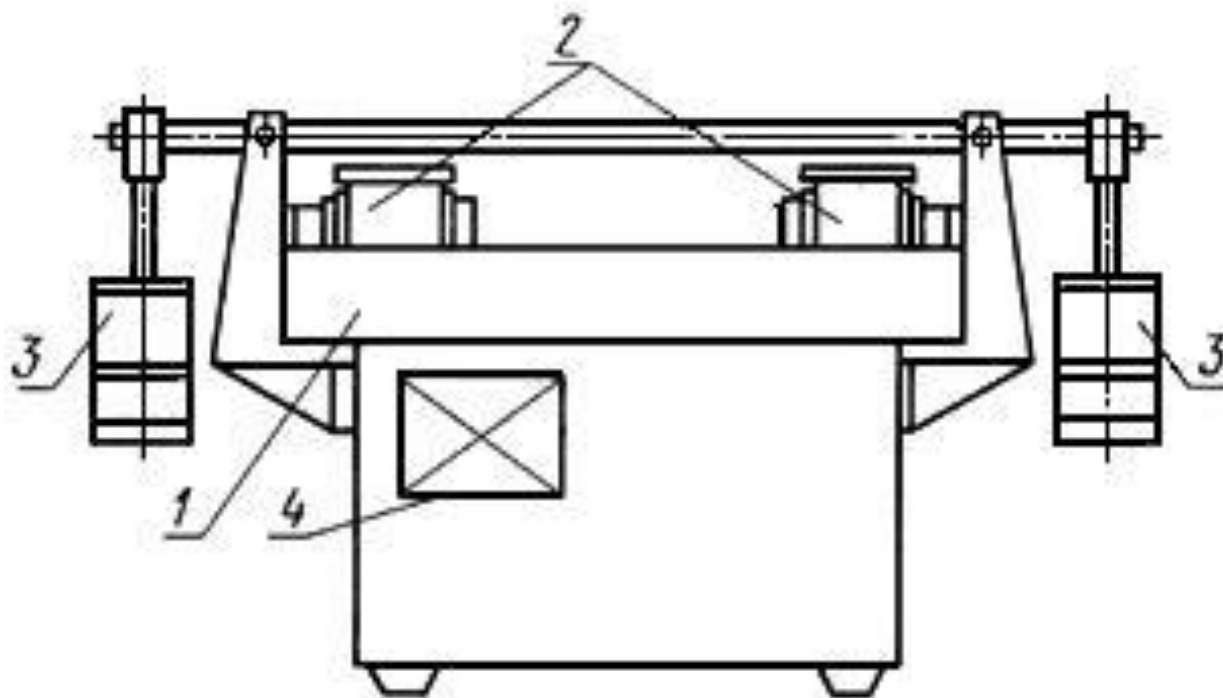


Рисунок 8.1 - Диск стирання типу ЛКИ-3

1 - диск; 2 - випробовувані зразки; 3 - навантажувальний пристрій; 4 - пристрій для вимірювання обертів

4. Включити двигун і дати диску зробити 1000 оборотів. В процесі роботи стежити за рівномірним подаванням піску.

5. Вийняти зразки з патронів, очистити щіткою від пилу і зважити.

6. Знову піддати їх стирання на 1000 оборотів кола. Повторювати випробування 2-3 рази до отримання постійних результатів.

7. Обчислити міцність при стиранні по формулі

$$R_{\text{ист}} = \frac{g}{\gamma_0 S}, \text{ см}^3 / \text{см}^2,$$

або

$$R_{\text{ист}} = \frac{g}{S}, \text{ г} / \text{см}^2,$$

де g- втрати зразка в вазі за 1000 оборотів, г;

γ_0 - об'ємний вес образцаоб'ємна вага зразка, г/см³;

S— площа зразка, см².

За результат приймається середнє арифметичне ряду визначень для двох зразків.

Коефіцієнт стирання обчислюється за формулою

$$K=20-a/3,$$

де a- втрата ваги одного зразка в грамах за 1000 оборотів диска.

Таблиця. 8.1 - Результати замірів стирання

№зразка	Вага зразка				Середня втрата ваги за 1000 об.	Міцність при випробуванні	Властивості середовища	При
	до дослідження	після 1000 об.	після 2000 об.	після 3000 об.				
1								
2								
3								
4								

8. Після визначення коефіцієнта стирання в повітряному середовищі, робимо експерименти і відповідні розрахунки для інших середовищ.

Зміст звіту

1. Пристрій приладу.
2. Підготовка зразків.
3. Порядок проведення випробувань.
4. Розрахунки.
5. Таблиця результатів.
6. Висновок.

Лабораторна робота 9

ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МІНЕРАЛІВ І ГІРСЬКИХ ПОРІД

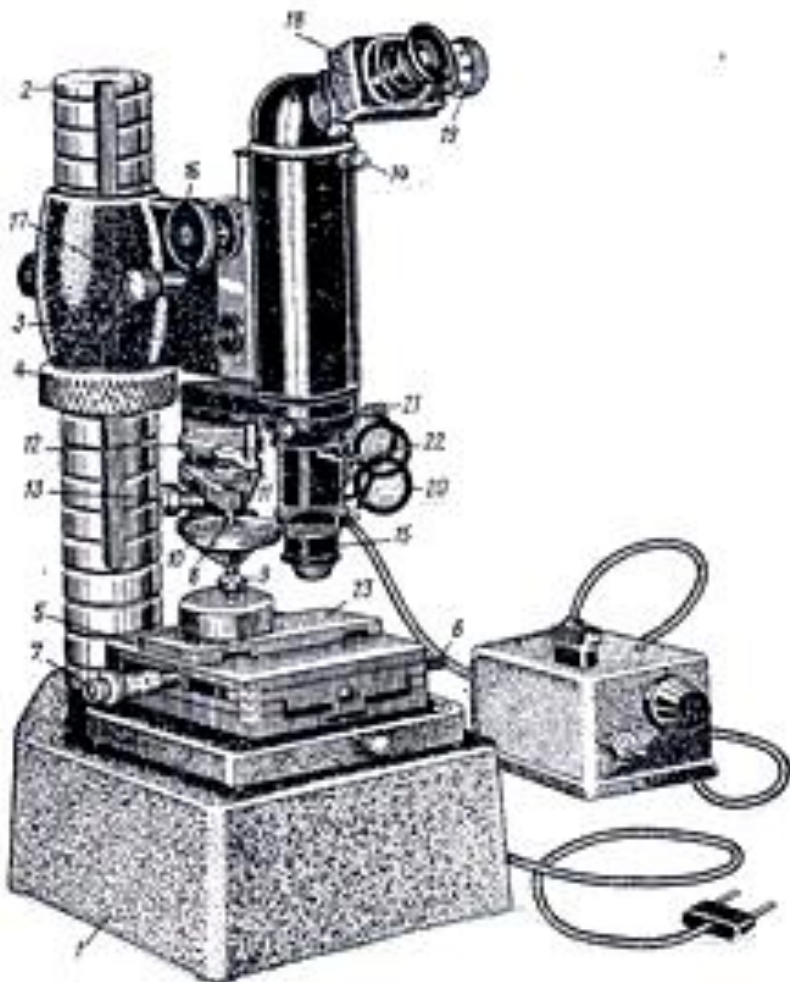
1. Ціль роботи

Навчитися вимірювати твердість невеликих зразків крихких гірських порід, для дослідження яких неможливо використовувати метод статичного вдавлювання штампу.

2. Загальні відомості

Твердість визначається шляхом вимірювання площі відбитка, отриманого при вдавненні алмазної піраміди в зразок при невеликих навантаженнях.

Вимірювання проводяться за допомогою приладу ПМТ-3 (рис. 9.1). Алмазна піраміда має квадратну підставу і кут при вершині між гранями 136° (піраміда Віккерса), рис. 9.2. Навантаження від 2 до 200 гр.



- 1 - станина; 2 - стійка;
- 3 - кронштейн; 4 - гайка;
- 5 - предметний столик;
- 6 - рукоятка; 7 - координатний гвинт; 8 - наванта - жувальний механізм;
- 9 - піраміда; 10 - вантаж;
- 11 - ручка аретира;
- 12 - регулювальна гайка;
- 13 - гвинт, який закріплює;
- 14 - тубус; 15 - об'єктив;
- 16 - макроподача;
- 17 - мікроподача;
- 18 - окуляр-мікрометр;
- 19 - відліковий барабанчик; 20 - освітлювальний пристрій;
- 21 - центрувальний гвинт;
- 22 - діафрагма;
- 23 - підставка

Рисунок 9.1 – Мікротвердометр ПМТ-3

Алмазна піраміда закріплена на тубусі мікроскопа. Кронштейн тубуса переміщається на стійці гайкою. Крім того, тубус мікроскопа може бути переміщений по напрямних кронштейна за допомогою гвинтів грубої і тонкої подачі.

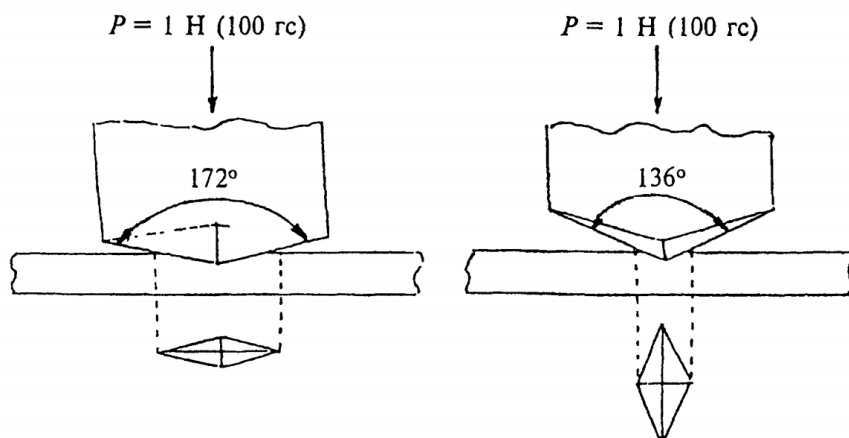


Рисунок 9.2 - Алмазна піраміда

Прилад оснащений двома змінними об'єктивами. Об'єктив з фокусною відстанню 6,2 мм забезпечує збільшення до 487 разів, а об'єктив з фокусною відстанню 23,2 мм до 130 разів. Предметний столик повертається навколо центральної осі на 180°. Робоча поверхня столика переміщається з двох взаємних напрямків.

Окулярний гвинтовий мікрометр МОВ 1-15 має нерухому шкалу і рухливу сітку у вигляді перехрестя ниток і двох штрихів, що переміщуються точним гвинтом окуляра з вимірювальним барабаном, розділеним на сто поділів. Прилад оснащений спеціальним освітлювачем, закріпленому на тубусі мікроскопа. Освітлювач має світлофільтри для зниження інтенсивності освітлення і збільшення контрастності спостережуваного відбитка.

3. Підготовка приладу і проведення досвіду

Прилад включається в електромережу. Зразок породи встановлюється на предметному столику під мікроскопом і закріплюється. Тумблером трансформатора включається лампа освітлювача 20 і за допомогою гвинтів макро- і мікропередачі фокусують мікроскоп на поверхню зразка породи. Поворотом предметного столика зразок переміщують під механізм навантаження. Фіксується це положення за допомогою регулювального гвинта. На стовщену частину штока механізму навантаження піраміди встановлюється вантаж. Рекомендуються наступні величини навантажень метал - 200 гр, мінерал і гірська порода - 20 гр. Повільним по-коміром рукоятки механізму проти годинникової стрілки опускають алмазну піраміду на поверхню зразка. Тривалість витримки під навантаженням 5-30 секунд.

Після нанесення відбитка плавним поворотом рукоятки за годинниковою стрілкою прибирають піраміду в початкове положення. Столик повертають таким чином, щоб зразок виявився під мікроскопом, і роблять виміри довжини діагоналі відбитка.

Вимірювання довжини відбитка діагоналі

Мікрогвинти столика підводять відбиток до перекриття так, щоб воно при пересуванні вздовж нерухомої шкали переміщалося по діагоналі відбитка. Об-

ртанням вимірювального барабана 19 перехрестя підводиться до одного з кутів відбитка і береться відлік по нерухомій шкалі і барабану 19. Після цього хрест ниток за допомогою барабана мікрометра пересувається уздовж діагоналі відбитка до суміщення з його протилежними сторонами і знову береться відлік.

Величина діагоналі відбитка визначається різницею відліків, помноженої на ціну поділки вимірювального барабана. Відлік береться з точністю до 2-х знаків. Повний оборот барабана відповідає одному поділу нерухомої шкали. Ціна поділки вимірювального барабана при використанні об'єктива з фокусною відстанню 6,2 мм одно 0,3 мікрона.

Приклад. Ризики рухомої сітки розташовані між поділами 2 і 3 нерухомої шкали. На вимірювальному барабані відлік дорівнює 82 діленням. Значить перший відлік дорівнює 282 розподілам. Після переміщення перекриття нитки ризики розташовані між 4 і 5 поділами нерухомої шкали, а на барабані фіксується 92 ділення. Другий відлік дорівнює 492 розподілам, величина діагоналі відбитку $(492-282) \cdot 0,3 = 63$ мікрон.

Обробка результатів.

Для прискорення обчислень рекомендується твердість H , кг/мм² визначати за формулою

$$H=1854 \cdot P/d,$$

де P – навантаження, г; d - діагональ відбитка, мк.

При випробуванні необхідно на кожному зразку отримати не менше 3-х відбитків, а шукане значення твердості зразка визначається як середнє арифметичне трьох значень. Дані дослідів записуються в таблицю 1.

Таблиця 9.1 - Результати замірянних та розрахункових величин

№№ зразка	Назва зразка	№№ відлік	Вимірювання діагоналі відбитка, мк	Навантаження, г	Величина діагоналі, мк	Твердість, кг/мм ²
		відлік 1				
		відлік 2				
		відлік 3				

3. Устаткування і матеріали

Мікроскоп-мікротвердомір типу ПМТ-3 (рисунок 6) або інший мікротвердомір, що дозволяє виконувати випробування при навантаженні $(1 \pm 0,05)$ Н $(100 + 5)$ гс на алмазну піраміду з кутом при вершині 136°.

Твердомір з робочим наконечником у вигляді алмазної ромбовидної піраміди (рисунок 7) з кутом при вершині 136°.

Двохсторонній скотч або пластилін.

Секундомір.

Завдання

1. Ознайомитися з будовою приладу ПМТ-3 і порядком виконання роботи.

2. Вивчити методику опрацювання результатів дослідження характеристик порід.
3. Зняти 3 відбитки і зробити їх опрацювання.
4. Оформити результати експерименту.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Принцип дії та будова приладу .
3. Таблиця результатів визначення твердості й інших механічних властивостей гірських порід.

5. Контрольні питання

1. Що називається щільністю мікротвердістю породи?
2. У чому полягає сутність способу визначення мікротвердості гірської породи?
3. Як визначають мікротвердості гірської породи?

Лабораторна робота 10

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД МЕТОДОМ МИТТЄВОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА

1. Ціль роботи

Вивчити основні теплофізичні параметри гірських порід, методи їх отримання та сферу застосування в гірничій промисловості.

2. Загальні відомості

Питоною теплоємністю називається кількість тепла, яке потрібно передати одиниці маси тіла, щоб підвищити його температуру на один градус.

Коефіцієнтом теплопровідності називається така кількість тепла, яка проходить через одиницю площі (перпендикулярно до поверхні) в одиницю часу при перепаді температури в один градус на одиницю відстані.

Коефіцієнт температуропровідності дорівнює такому підвищенню температури, яке відбудеться у одиниці об'єму даної речовини, якщо йому повідомити кількість тепла, кількісно рівно його коефіцієнту теплопровідності при питомій теплоємності, що дорівнює одиниці. Температуропрові-

дність, теплопровідність і теплоємність - залежні один від одного параметри і тому можуть бути визначені з одного досвіду за такими залежностями:

$$\alpha = x^2 / 2\tau_{max}, \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda = \frac{u^2 t \cdot x}{R \cdot F \cdot \tau_{max} \Delta T}, \text{ Дж} / \text{ м.с.град};$$

$$c = \lambda / \alpha \cdot \gamma, \text{ Дж} / \text{ кг.град},$$

де x - товщина породної пластинки, м; u - напруга на затискачах нагрівача, В; t - час дії імпульсу електричного струму, с; τ_{max} - час досягнення максимальної температури, с; γ - об'ємна вага породи, кг/м³; R - електричний опір нагрівача, Ом; F - площа перетину породи, через яку проходить тепловий потік, м²; ΔT - абсолютне збільшення температури породної пластинки на відстані x від нагрівача ($\Delta T = n$); n - кількість великих поділок на шкалі дзеркального гальванометра.

З наведених формул випливає, що для визначення всіх зазначених теплофізичних параметрів необхідно з одного експерименту визначити: τ_{max} , u , x і F .

Вимірювальна апаратура і порядок проведення експерименту

У вимірювальну апаратуру входять (рис.1); секундомір; термопара диференціальна - для вимірювання різниці температур між поверхнею зразка і навколишнім середовищем; Обчислювальний комплекс, який складається з модулів WAD-AIK-BUS (USB) виробництва компанії «Акон» Призначення для вимірювання електричних величин, обробки інформації та передачі її в головний обчислювач мережі (комп'ютер) по лініях послідовного дводротового інтерфейсу RS-485, або USB - візуалізації, запису і зберігання результатів вимірювання температури в зразку.

Модуль WAD-AIK-BUS (USB) складається з наступних вузлів: чотирьох вимірювальних каналів, внутрішньої шини, центрального процесора і ланцюгів формування сигналів інтерфейсу RS-485 (USB) (рис. 10.1).

Порядок проведення дослідження наступний:

1. Приєднати черзі наявні термопари (типу К) до модулів WAD-AIK-BUS (2).

2. За допомогою кабелю USB з'єднати модулі WAD-AIK-BUS з системним блоком персонального комп'ютера (3).

3. Включити ПК і блок живлення WAD-AIK-BUS (4).

4. Провести тарировки і введення поправок. Для цього:

Запускаємо програму AKON Administrator і виконуємо слід. дії:

• а) виставляємо потрібну мову - Languages - Русский;

• б) за допомогою функції Пошук (головне вікно адміністратора) знаходимо підключені модулі.

Після зробленого пошуку подвійним натисканням лівої клавiшi мишi виставляємо в кожному модулі температуру кожної окремої термопари і зберігає-

мо в Flash (при наступному запуску програми необхідно завантажити збережені значення). Температура термопар виставляється опусканням в воду +18 С.

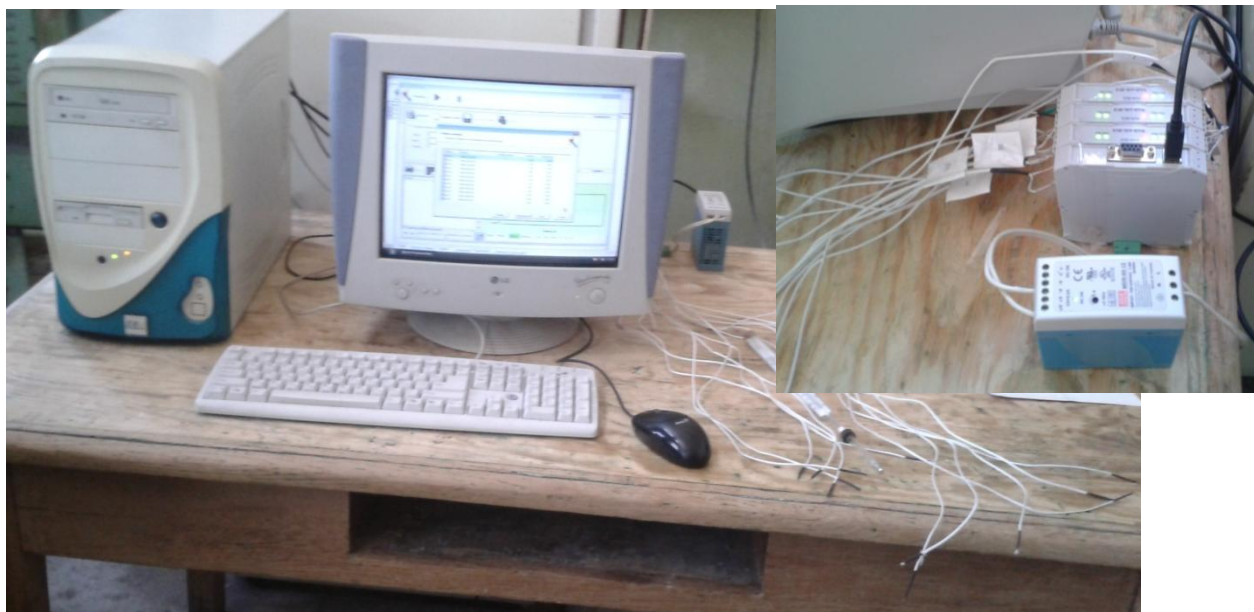


Рисунок 10.1 - Загальна схема пристрою модуля WAD-AIK-BUS.

4. Перевіряємо таровані термопары: Осцилограф (головне вікно адміністратора) - Помічник (6) - Відзначаємо необхідні термопары (8) - Виставляємо час запису і через якийсь час буде робитися записи в файл (9) (ставимо галочку Автоматичний запис в файл) - Називаємо зберігається файл і вибираємо місце збереження - Виставляємо необхідний масштаб (по вертикалі) і проміжок часу (по горизонталі) на осцилограмі (13-14) - Старт (10) - Після перевірки натискаємо «Стоп» (11) - Щоб відкрити збережений файл натискаємо «Завантажити» і вибираємо місце куди був збережений файл.

5 Виробляємо вимір температури.

6. Обробка отриманих результатів.

6.1. Після тарировки і введення необхідних поправок виробляємо дослідження за аналогічною системі. Отримані дані експортуємо («Експорт» (15)) в .txt файл.

6.2. Відкриваємо отриманий .txt файл в Excel і отримуємо по секундно вибудовану таблицю.

6.3. Відкриваємо ще 1 чисту сторінку Excel і робимо таблицю вставляючи в неї необхідні нам дані з урахуванням часу.

6.4. Після складання таблиці, створюємо графік зміни температури.

Час теплового впливу фіксується АЦП

Виконання роботи

1. Виміряти товщину X і площа F зразка породи.

2. Ознайомитися зі схемою установки і усвідомити функціональне призначення її елементів.

3. Визначення температурних полів проводилося за допомогою термопар, встановлених в керна, наприклад - за схемою позначеної на (рис. 1), а також за допомогою електронного вимірювача температури модулем WAD-AIK-BUS (USB). Відстань між термопарами в зразку фіксуються мікрометричним інструментом.

4. Розрахувати шукані параметри, дотримуючись розмірності вхідних величин.

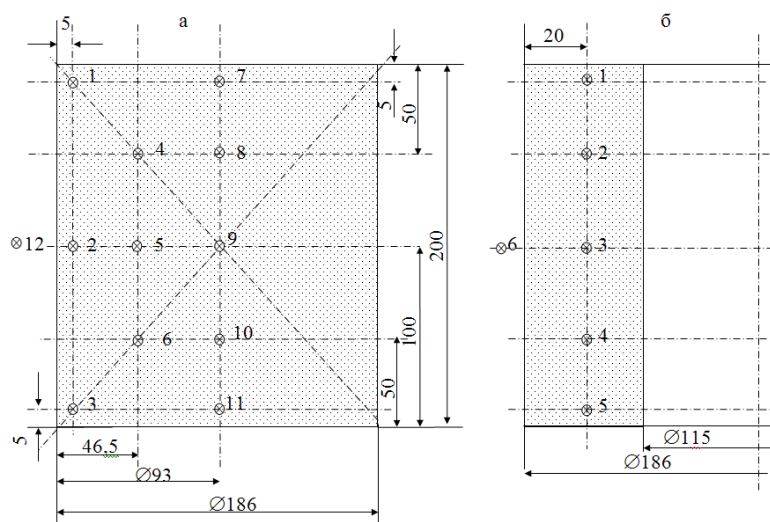


Рисунок 1.2 – Схема установки термопар в:

а - в циліндричному зразку; б - в циліндрично-порожнистому зразку

Всі розрахунки проводять в зошиті, а результати заносять в таблицю 10.1.

Таблиця 10.1 - Результати заміряних та розрахункових величин

№ зразку	Експериментальні дані							Теплофізичні параметри		
	X, м	F, м ²	t, с	ΔT, град				α, м ² /с	λ, Дж/м.с.град	С, Дж/кг.град
				термопари						
				1	2	3	...			
1										
2										
3										
4										

Завдання

1. Ознайомитися з порядком виконання роботи.
2. Вивчити методику опрацювання результатів дослідження характеристик порід.
3. Здійснити вимір температури і опрацювати їх.
4. Оформити результати експерименту.

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Принцип дії та будова приладу .
3. Таблиця результатів визначення теплофізичних властивостей гірських порід.
4. Залежність зміни температури від _____ (факторів).

5. Контрольні питання

1. Дайте визначення коефіцієнту теплопровідності. Одиниці виміру, позначення.
2. Дайте визначення питомої теплоємності. Одиниці виміру, позначення.
3. Дайте визначення коефіцієнта лінійного теплового розширення. Одиниці виміру, позначення.

Список літератури

1. Судаков А.К. Наукові основи технології обладнання бурових свердловин криогенно-гравійними фільтрами. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2014.
2. Кожевников А.А. Судаков А.К. Криогенно-гравійные фильтры буровых скважин: Монография. - Д.: Литограф, 2014. – 305 с.
3. Судаков А.К. Дзюбик А.Р., Кузін Ю.Л., Назар І.Б., Судакова Д.А. Ізоляція поглинаючих горизонтів бурових свердловин термопластичними матеріалами: Монография – Дрогобич.: «Просвіт», 2019. – 182 с.

ЗМІСТ

	Стор.
Лабораторна робота 1. Визначення щільності, об'ємної маси, шпаристості гірських порід.....	3
Лабораторна робота 2. Визначення межі тривкості гірських порід на одноосьовий стиск на зразках правильної форми.....	7
Лабораторна робота 3. Визначення акустичних і пружних властивостей гірських порід за допомогою ультразвука	11
Лабораторна робота 4. Визначення показника зчеплення і кута внутрішнього тертя гірських порід	14
Лабораторна робота 5. Визначення ударної в'язкості і граничної роботи ударного руйнування гірських порід.....	18
Лабораторна робота 6. Визначення категорій буримості гірських порід за методом ЦНІГРІ.....	21
Лабораторна робота 7. Визначення механічних властивостей гірських порід на приладі УМГП-3.....	24
Лабораторна робота 8. Визначення впливу середовища на стирання гірських порід.....	28
Лабораторна робота 9. Визначення мікротвердості мінералів і гірських порід.....	30
Лабораторна робота 10. Визначення основних теплофізичних параметрів гірських порід методом миттєвого джерела тепла.....	35

Упорядники:

Андрій Костянтинович Судаков

Методичні вказівки
до лабораторних робіт
з дисципліні **"ФІЗИКА ГІРСЬКИХ ПОРІД"**
для студентів спеціальності
185 Нафтогазова інженерія та технології