

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД І МАСИВІВ»
(для студентів спеціальності 184 Гірництво ОС «Бакалавр»)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«МЕХАНІКА ГІРСЬКИХ ПОРІД І МАСИВІВ»
(для студентів спеціальності 184 Гірництво ОС «Бакалавр»)

Розглянуто:

НА ЗАСІДАННІ КАФЕДРИ «РОЗРОБКА
РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН»
ПРОТОКОЛ № 13 ВІД 22.06.2021 Р.

Затверджено:

НА ЗАСІДАННІ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ
КОМІСІЇ ДОННТУ
184 ГІРНИЦТВО ПРОТОКОЛ № 7 ВІД
24.06.2021 Р.

Покровськ - ДонНТУ - 2021

УДК 622:02 (075.8)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Механіка гірських порід і масивів" (для студентів спеціальності 184 Гірництво ОС «Бакалавр»)/Укладачі: І.Г. Сахно, А.В. Петренко. Покровськ: ДонНТУ, 2021. 50 с.

В методичних вказівках наведені рекомендації, методики і порядок проведення вимірів і розрахунків щодо визначення фізико-механічних параметрів гірських порід.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Механіка гірських порід і масивів" рекомендовані до видання науково-методичною комісією ДонНТУ зі спеціальності 184 Гірництво (протокол № 7 від 24.06.2021 р.).

Укладачі: І.Г. Сахно, професор кафедри РРКК ДонНТУ, д-р техн. наук, доцент.

А.В. Петренко, асистент кафедри РРКК ДонНТУ.

Рецензент: Л.Л. Бачурін, доцент кафедри УГВ ДонНТУ, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск: І.О. Єфремов, завідувач кафедри РРКК, д-р техн. наук, доц.

Затверджено на засіданні навчально-методичного відділу протокол №10 від 29 червня 2021 року

Затверджено на засіданні кафедри розробка родовищ корисних копалин протокол № 13 від 22.06.2021 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.	
Визначення параметрів гірських порід, які характеризують вміст води	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.	
Визначення об'ємної маси гірських порід	14
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.	
Визначення насипної щільності і пустотності пухких гірських порід.	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4.	
Визначення гранулометричного складу гірських порід і куту природного укосу	26
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5.	
Визначення міцності гірських порід.....	32
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6.	
Визначення міцності, об'ємної маси і модуля пружності гірських порід ультразвуковим методом.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	50

ВСТУП

Курс «Механіка гірських порід і масивів» є обов'язковою дисципліною циклу професійної підготовки освітніх програм спеціальності 184 Гірництво, освітнього рівня «Бакалавр».

Наведені в методичних вказівках роботи виконуються паралельно з вивченням курсу. Їх мета – закріплення і розширення теоретичних знань, надбання практичних навиків з визначення фізико-механічних властивостей гірських порід.

До методичних вказівок увійшли наступні роботи: Визначення параметрів гірських порід, які характеризують вміст води (робота №1), Визначення об'ємної маси гірських порід (робота №2), Визначення насипної щільності і пустотності пухких гірських порід (робота №3), Визначення гранулометричного складу гірських порід і куту природного укосу (робота №4), Визначення міцності гірських порід (робота №5), Визначення міцності, об'ємної маси і модуля пружності гірських порід динамічним методом (робота №6).

Виконання наведених робіт є складовою активного навчання і одним із засобів фахової практичної підготовки здобувачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД, ЯКІ ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ВМІСТ ВОДИ

Мета роботи: ознайомлення з методиками визначення вологості і повної вологоємності гірських порід

Загальні відомості

Вміст рідин в гірських породах є інтегральною характеристикою, яка визначається як умовами зовнішнього середовища, так і внутрішніми параметрами порід, насамперед їх тріщинуватістю і пористістю.

Наявність води в гірських породах впливає на міцнісні, деформаційні, теплові, електричні і акустичні властивості порід. Для врахування цього впливу необхідно розуміти фактичні значення показників вологості і межі їх коливання.

Розрізняють хімічно зв'язану, фізично зв'язану і вільну воду.

Хімічно зв'язана вода поряд з іншими молекулами і іонами входить до складу кристалічної решітки мінералів. Видалення такої води призводить до руйнування мінералу, перетворенню його в інше – безводне з'єднання.

Якщо вода в кристалічній решітці знаходиться у вигляді молекул, то така вода називається *кристалізаційною*. Вона характерна, наприклад, для гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), опала ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), карналіту ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) і багатьох інших мінералів. Кристалізаційна вода, як правило, видаляється з породи при температурі 200-600 °C.

Вода, що утворюється при нагріванні не входить в кристалічну решітку гідроксильних йонів (OH^- і H^+), називається *конституційною*. Вона характерна для таких мінералів, як тальк ($\text{Mg}_3 (\text{OH})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}$), малахіт ($\text{Cu}_2 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_2$), і каолініт ($\text{Al}_2 (\text{OH})_4 \cdot \text{Si}_2\text{O}_5$). Температура виділення конституційної води досягає 1300 °C.

Наявність в породі хімічно зв'язаної води проявляється тільки при її нагріванні. Вона обумовлює зміну властивостей породи при високих температурах.

Фізично зв'язана вода тісно з'єднана молекулярними силами тяжіння з твердими частинками породи, огортаючи їх у вигляді плівки. Її кількість залежить від змочуваності порід. Вона видаляється з породи тільки при нагрівання понад 105-110°C.

Вільна вода може знаходитися у вигляді капілярної води, що утримується у дрібних порах силами капілярного підняття, і у вигляді гравітаційної води, що заповнює великі пори і пересувається в породах під дією сили тяжіння.

Залежно від мінерального, гранулометричного складу порід і форми частинок співвідношення кількості різних видів води в породі може бути різним.

Визначення вологості зазвичай проводиться за методикою регламентованою п. 4.19 ДСТУ Б В.2.7-71-98 [1], згідно з яким вологість визначають шляхом порівняння маси проби у вологому стані і після висушування. Вологість гірської породи визначають на зразках правильної або довільної форми. Вологість по масі, визначають за формулою:

$$\omega_m = \frac{m_{\text{вол}} - m_c}{m_c}, \text{ відн. од.}, \quad (1.1)$$

де $m_{\text{вол}}$ – маса вологого зразка породи, г;

m_c – маса висушеного зразка породи, г.

Іноді вміст води оцінюється показником *об'ємна вологоємність* – відношення об'єму води, що міститься в породі, до об'єму всієї породи, виражене в частках одиниці або відсотках.

а) Визначення природної (загальної) вологості

Природна вологість ω_e – відносна кількість води, що міститься в породі в її природному заляганні.

Для визначення вмісту води в гірських породах, в тому числі і природної вологості, широко застосовується термостатний метод.

Для визначення вологості термостатним методом зразок витримують до постійної маси в сушильній шафі при температурі 105-110°C, що досягається багаторазовим висушуванням з наступним зважуванням. Зразок вважається доведеним до постійної маси, якщо відносні розходження між двома наступними зважуваннями не перевищують трикратної помилки зважування.

Первинне висушування глинистих і торф'яних порід проводять протягом 4-5 годин, піщаних і великоуламкових - 1-2 год, друге і наступні висушування – від 0,6 до 2 год.

Величину навіски проби встановлюють з урахуванням розмірів зерен породи.

Для торфів, глин, суглинків і супісків з розміром зерен до 2 мм навіска проби повинна бути не менше 5-10 г, для пісковиків – 25 г, а для порід, що містять окремі зерна з розміром 2-20 мм величина навіски повинна бути не менше 1000 г, для гальки з розміром зерен 20-40 і 40-70 мм величина навіски відповідно – 2000 і 3000 г.

Апаратура: сушильна шафа СНОЛ 67/350 з автоматичним терморегулятором; щільна ємність, яка закривається кришкою, наприклад бюкса; ваги ТВЕ 0,5 (500/0,01) або RADWAG PS 3500/С в залежності від до маси проб; щипці; ексикатор.

Послідовність визначення

1. У попередньо зважену ємність з кришкою (бюкс) поміщають навіску вологої породи, щільно закривають ємність кришкою і зважують.
2. Відкривають кришку ємності і ставлять її у сушильну шафу. Висушують породу при 100-105°C до постійної маси.

3. Після висушування породи ємність закривають кришкою і охолоджують до кімнатної температури, а потім зважують.

4. Природну вологість породи ω_e обчислюють за формулою:

$$\omega_e = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де m_0 – маса порожньої ємності з кришкою, г;

m_1 – маса ємності з вологою породою, г;

m_2 – маса ємності з висушеною породою, г.

5. Для встановлення вологості породи проводять не менше двох визначень. Розбіжність між результатами цих визначень не повинна перевищувати 2%. За величину вологості приймають середнє арифметичне результатів паралельних визначень з точністю 1%

6. Результати визначень записуються в табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Результати визначень

№ проби	Маса порожньої ємності m_0 , г	Маса ємності з вологою породою m_1 , г	Маса ємності з породою після сушки m_2 , г			Вологість, ω_e , %	
			основний вимір	I повторний вимір	II повторний вимір	окремої проби	середня

б) Визначення гігроскопічної вологи

Вологість гірської породи, обумовлена її гігроскопічністю, тобто властивістю вбирати пароподібну воду із повітря, називається *гігроскопічною вологою* $\omega_{г.пр}$. Вона практично дорівнює вологості повітряно-сухої породи. Гігроскопічність гірських порід залежить від ступеню їх дисперсності,

мінерального складу та інших факторів, тому визначення гігроскопічної вологи представляє практичний інтерес тільки для глинистих порід та частково для тонко – та мілко зернистих пісків.

Гігроскопічна волога визначає вміст адсорбованої води у гірській породі в реальних умовах, використовується для внесення поправок до гранулометричного аналізу та інших цілей.

Кількість гігроскопічної води визначається відношенням маси води, яка виділяється із зразка повітряно-сухої породи висушуванням при температурі 100-105°C до постійної маси, до маси зразку, висушеного при температурі 100-105°C.

Для визначення гігроскопічної вологи необхідно теж саме обладнання, що для визначення вологості гірських порід. Слід використовувати переважно скляні бюкси.

Послідовність визначення

1. Пробу породи висушують на повітрі протягом 1-2 діб, після чого розтирають її в порцеляновій ступці товкачом, для того щоб зруйнувати великі куски та агрегати. Отриману масу слід просіяти через сито з діаметром отворів 1,5 мм.

2. Скляний бюкс зважують на вагах та отримують масу m_0 .

3. З просіяної частини проби беруть середню пробу квартуванням. Із середньої проби беруть навіску не менше 5 г (при зважуванні на аналітичних вагах TBE 0,5 (500/0,01)) або не менше 15 г (при зважуванні на технічних вагах RADWAG PS 3500/C) в заздалегідь зваженому бюксі, зачиняють його кришкою та зважують, одержуючи масу m_1 .

4. Далі послідовність дій аналогічна наведених в п. 2-6 визначення природної (загальної) вологості гірських порід.

Гігроскопічну вологу визначають з точністю до 0,1%.

Результати визначень записуються в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Результати визначень

№ проби	Маса порожнього бюкса m_0 , г	Маса бюкса з вологою породою m_1 , г	Маса бюкса з породою після сушки m_2 , г			Гігроскопічна волога, $\omega_{г.пр}$, %	
			основний вимір	I повторний вимір	II повторний вимір	окремої проби	середня

в) Визначення максимальної гігроскопічності

Максимальна гігроскопічність ω_r – найбільша відносна кількість води, яку здатна адсорбувати гірська порода з повітря, з відносною вологістю 94%.

Максимальна гігроскопічність майже дорівнює максимально можливому вмісту фізично зв'язаної, адсорбованої води в породі. Для визначення ω_r зазвичай застосовують метод Мітчерліха, заснований на встановленні рівноважного стану вологості породи в повітрі з відносною вологістю 95-98% при температурі 20°C. При цьому крім устаткування, необхідного для визначення гігроскопічної вологості гірських порід, треба мати додатково ще один ексікатор, в нижній частині якого налитий шар 10%-ного розчину H_2SO_4 або насиченого розчину K_2SO_4 .

Послідовність визначення.

1. Глинисту породу або пісок готують до аналізу так само, як і при визначенні гігроскопічної вологості, згідно з пунктами 1 і 2.

2. З просіяної частини проби беруть середню пробу квартуванням. Із середньої проби беруть навіску не менше 5 г (при зважуванні на аналітичних вагах ТВЕ 0,5 (500/0,01)) або не менше 15 г (при зважуванні на технічних вагах RADWAG PS 3500/C) в заздалегідь зваженому бюксі.

3. Бюкс з відкритою кришкою, поміщають в ексикатор, в якому знаходиться розчин H_2SO_4 або K_2SO_4 . Ексикатор закривають кришкою і бюкс з породою залишають в ньому на 1-2 доби для встановлення рівноважного стану вологості породи в атмосфері, яка насичена водяною паром. Ексикатор необхідно тримати в кімнаті при температурі близько $20^\circ C$. Рівноважний стан вологості породи фіксують періодичним зважуванням. Таким чином отримують масу m_1 .

4. Потім бюкс з відкритою кришкою ставлять у сушильну шафу для висушування породи при температурі $100-105^\circ C$ до постійної маси. Зважують бюкс і отримують масу m_2 .

5. Максимальну гігроскопічність ω_r породи обчислюють з точністю до 0,1% за формулою:

$$\omega_r = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

де m_0 – маса порожнього бюкса, г;

m_1 – маса бюкса з породою після водонасичення, г;

m_2 – маса бюкса з породою після сушки, г.

Результати визначень записуються в табл. 1.3.

Таблиця 1.3.

Результати визначень

№ проби	Маса порожнього бюкса m_0 , г	Маса бюкса з породою після водонасичення m_1 , г	Маса бюкса з породою після сушки m_2 , г			Максимальна гігроскопічність, ω_r , %	
			основний вимір	I повторний вимір	II повторний вимір	окремої проби	середня

г) Визначення повної вологоємності (водопоглинання)

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

Визначення повної вологоємності (водопоглинання) проводиться за методикою регламентованою п. 4.18 ДСТУ Б В.2.7-71-98 [1]. Для визначення застосовується термостатний метод.

Для визначення повної вологоємності (водопоглинання) гірської породи з геологічної проби відбирають п'ять зразків правильної або довільної форми розміром від 40 до 70 (80) мм. Зразки очищають металевою щіткою від крихких частинок і пилу і висушують до постійної маси. Для визначення водопоглинання беруть аналітичну пробу, яку промивають і висушують до постійної маси.

Послідовність визначення

1. Підготовлену і висушену до постійної маси m_2 пробу укладають в ємність з водою кімнатної температури так, щоб рівень води в ємності був вище верху проби не менше ніж на 20 мм. У такому положенні пробу витримують протягом 48 год.

2. Пробу виймають з ємності з водою, видаляють вологу з її поверхні віджатою м'якою тканиною і поміщують кожну пробу в підготовлену попередньо зважену ємність масою m_0 . Після цього пробу в ємності зважують, отримуючи значення m_1 , при цьому маса води, що витікає з проби, повинна включатися в масу проби.

3. Повну вологоємність обчислюють за формулою:

$$\omega_{\text{п}} = \frac{(m_1 - m_0) - m_2}{m_2} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

де m_0 – маса порожнього бюкса, г;

m_1 – маса бюкса з породою після водонасичення, г;

m_2 – маса породи після сушки, г.

Результати визначень записуються в табл. 1.4.

Таблиця 1.4.

Результати визначень

№ проби	Маса порожнього бюкса m_0 , г	Маса бюкса з породою після водонасичення m_1 , г	Маса породи після сушки m_2 , г	Повна вологості, ω_p , %	
				окремої проби	середня

Контрольні питання

1. В яких станах вода може знаходитись в гірських породах?
2. Якими показниками оцінюються вміст води в гірських породах?
3. Поясніть сутність термостатного методу визначення вмісту води в гірських породах.
4. Що називається гігроскопічною вологістю і максимальною гігроскопічністю гірських порід?
5. В яких випадках і для яких порід виникає необхідність визначення показників, що характеризують вміст води?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ МАСИ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Мета роботи: ознайомлення з методиками визначення об'ємної маси гірських порід.

Загальні відомості

Об'ємна маса (середня щільність) ρ – це маса одиниці гірської породи в її природному стані (з порами, тріщинами і т. п.).

Об'ємна маса визначається зазвичай на зразках породи у повітряному стані.

Об'ємна маса малопористих порід залежить в основному від їх мінерального складу. Якщо порода складена з мінералів приблизно однакової щільності, то її щільність залежить від пористості. Щільність більшості порід коливається від 1500 до 3500 кг/м³. Більш велика щільність характерна для рудних корисних копалин (до 5000 кг/м³). Низьку щільність мають гідрохімічні осади (гіпс – 2300 кг/м³; кам'яна сіль – $\rho = 2100$ кг/м³). Ще нижча щільність у кам'яного вугілля та торфу (720 - 2000 кг/м³).

Знання щільності необхідно для визначення кількості гірської маси при розрахунку запасів корисних копалин, продуктивності гірничих підприємств і устаткування, ємності складів, транспортних засобів, обсягу відвалів, витрат вибухових речовин і т. д.

Для визначення об'ємної маси необхідно зважити зразок породи і встановити його об'єм. Об'єм встановлюється залежно від характеру проби одним із методів: а) методом безпосередніх вимірювань розмірів; б) методом ріжучого кільця; в) методом гідростатичного зважування.

Визначення середньої щільності гірських порід проводиться за методикою регламентованою п. 4.16 ДСТУ Б В.2.7-71-98 [1].

а) Метод безпосередніх вимірів

Безпосереднє вимірювання розмірів застосовується для зразків правильної геометричної форми. Такі вимірювання зручно виконувати на циліндричних зразках (шматках керна), призначених для визначення пружних або міцносних властивостей гірських порід.

Апаратура: ваги технічні RADWAG PS 3500/C, сталева лінійка, штангенциркуль.

Послідовність визначення

1. З моноліту гірської породи вирізають, випилюють або вибурюють зразок правильної форми у вигляді куба, прямокутного паралелепіпеда або циліндра. При наявності використовують шматок породного керна.

2. Зразок зважують на технічних вагах з точністю до 0,01 г і отримують його масу m .

3. Вимірюють зразок лінійкою або штангенциркулем і обчислюють об'єм V .

Для визначення діаметра зразка циліндричної форми кожену з паралельних основ циліндра штангенциркулем вимірюють двічі у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Розрахункове значення діаметра встановлюється як середньоарифметичне чотирьох вимірювань.

Висота зразка циліндричної форми обчислюється як середньоарифметичне вимірювань чотирьох утворюючих циліндра, розташованих по двох взаємно-перпендикулярних площинах, що перетинають циліндр по його поздовжній осі.

4. Обчислюють об'ємну масу гірської породи (г/см^3) за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Величина об'ємної маси циліндричного зразка може розраховуватися за формулою:

$$\rho = 1,274 \frac{m}{d^2 h} \quad (2.2)$$

де m – маса зразка, г;

d – діаметр зразка, см;

h – висота зразка, см.

Для кожної проби гірської породи роблять два паралельних визначення, а потім обчислюють середнє значення з точністю до 0,01. Розбіжність результатів між паралельними визначеннями допускається до 0,02 г/см³.

4. Всі результати вимірювань і обчислень записують у табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Результати визначень

№ п/п	Розміри зразка, см			Об'єм зразка, V , см ³	Маса зразка, m , г	Об'ємна маса, ρ , г/см ³
	Довжина або діаметр	ширина	висота			

б) Метод ріжучого кільця

Цей метод визначення об'ємної маси (середньої щільності) використовується для м'яких гірських порід – глин, суглинків, пісків, з яких можна вирізати зразок ріжучим кільцем. Ріжуче кільце виготовляється з металу, що не кородує, має загострену ріжучу кромку. Діаметр кільця повинен бути не менше 50-70 мм, висота – не більше діаметра і не менш половини діаметра, товщина стінок 1,5–2 мм.

Апаратура: ріжуче кільце, ваги технічні RADWAG PS 3500/C, штангенциркуль, ніж.

Послідовність визначення

1. Вимірюють внутрішній діаметр і висоту кільця, обчислюють його об'єм V .

2. Зважують кільце з точністю до 0,01 г і отримують масу m_1 .

3. Ставлять кільце загостреною кромкою на зачищену і вирівняну поверхню моноліту гірської породи. Гостро відточеним ножом тонкими зрізами

вирізають стовпчик породи заввишки 1–2 см і діаметром на 1 мм більше внутрішнього діаметра кільця. По мірі вирізання кільце поступово надягають на стовпчик гірської породи, зайва частина якої зрізається при цьому гострими краями кільця. Після того, як стовпчик породи виступить над краєм кільця, зайву частину породи зрізають врівень з нижнім і верхнім його краями. Втискання кільця у моноліт небажано, оскільки це порушує природний стан породи.

4. Кільце з породою зважують і отримують масу m_2 .

5. Обчислюють щільність породи за формулою:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2.3)$$

Для кожної проби породи проводять два паралельних визначення і потім обчислюють середнє значення з точністю до 0,01. Розбіжність результатів між паралельними визначеннями не повинні перевищувати 0,02 г/см³.

6. Дані вимірювань і обчислень записують у табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Результати визначень

№ п/п	Маса ріжучого кільця, г		Маса породного зразка, $m_2 - m_1$, г	Об'єм ріжучого кільця V , см ³	Об'ємна маса, ρ , г/см ³	
	Порожнього m_1 , г	З породою m_2 , г			Окремого зразка	Середня

в) Метод гідростатичного зважування

Для визначення середньої щільності гірської породи методом гідростатичного зважування відбирають п'ять зразків правильної або довільної форми розміром від 40 до 70 (80) мм. Кожен зразок очищають металевою щіткою від крихких частинок, пилу і висушують до постійної маси.

Згідно з методикою, регламентованою п. 4.16 ДСТУ Б В.2.7-71-98 [1], для визначення середньої щільності зерен щебню (гравію) фракцією з найбільшим номінальним розміром до 40 мм беруть аналітичну пробу масою не менше 2,5 кг. При випробуванні щебню (гравію) фракцією з найбільшим номінальним розміром понад 40 мм беруть аналітичну пробу масою близько 5 кг. Зерна крупніше 40 мм дроблять до отримання частинок розміром не більше 40 мм і пробу скорочують удвічі. Пробу висушують до постійної маси, просівають через сито з розміром комірки, що відповідає найменшому номінальному розміру зерен даної фракції щебню (гравію), з залишку на ситі відбирають дві проби по 1000 г кожна.

Зразки гірської породи довільної форми або навіски щебню (гравію) насичують, водою, занурюючи їх в воду кімнатної температури на 2 години так, щоб рівень води в ємності був вище поверхні зразків або щебню (гравію) не менше ніж на 20 мм.

Насичені зразки породи або пробу щебню (гравію) виймають з води, видаляють вологу з їх поверхні м'якою вологою тканиною і відразу ж зважують на технічних, а потім на гідростатичних вагах, поміщаючи пробу в сітчастий (перфорований) стакан, занурений у воду. Зразки гірської породи довільної форми з дрібними відкритими порами замість насичення покривають плівкою парафіну товщиною близько 1 мм. Для цього висушений до постійної маси зразок занурюють в розігрітий парафін і охолоджують на повітрі. У разі виявлення при охолодженні на парафіновій плівці бульбашок або пошкоджень їх загладжують за допомогою гарячої металевої пластинки, ножа або дроту.

Оскільки гідростатичне зважування полягає у визначенні об'єму витісненої породою рідини, при його реалізації проводиться зважування зразка у повітрі і у воді. Середня щільність розраховується за формулою:

$$\rho = \frac{\rho_B \cdot m_1}{m_1 - m_2} \quad (2.4)$$

де m_1 і m_2 – маса зразка у повітрі і в воді, г;

ρ_B – щільність води, г/см³.

Як вже зазначалось вище, для зниження помилок у визначенні об'єму зразків пористої породи, проводиться їх парафінування.

В такому випадку обчислення щільності здійснюється за формулою:

$$\rho = \frac{m\rho_{\text{п}}\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}(m_1 - m_2) - \rho_{\text{п}}(m_1 - m)} \quad (2.5)$$

де m – маса зразка у повітрі, г;

m_1 – маса запарафінованого зразка у повітрі, г;

m_2 – маса запарафінованого зразка у воді, г;

$\rho_{\text{п}}$ – густина парафіну, г/см³;

$\rho_{\text{в}}$ – щільність води, г/см³.

Щільність парафіну визначається також гідростатичним зважуванням і розраховується за формулою:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{в}}m_0}{m_0 - (m_1 - m)} \quad (2.6)$$

де m_0 – маса парафіну в повітрі, г;

m – маса зразка, г;

m_1 – маса парафіну з зразком у воді, г;

$\rho_{\text{в}}$ – щільність води, г/см³.

Апаратура: ваги з пристроєм для зважування зразка у воді (або денситометр); лабораторний стакан; ніж; голка; ванна з парафіном; дистильована вода; фільтрувальний папір; вимірвальна лінійка; штангенциркуль; нитки.

Послідовність визначення

1. Визначають масу зразка гірської породи у повітрі m .

2. Опускають зважений зразок на 1-2 секунди в посудину з розплавленим парафіном, температура якого повинна бути 70 - 80 °С (більш висока температура неприпустима, оскільки парафін стає рідким і може проникнути в пори зразка. А при більш низькій температурі густий парафін не прилипає до поверхні зразка породи). Бульбашки повітря в застиглій парафінованій оболонці товщиною 0,5–1 мм видаляють, проколюючи над ними оболонку та загладжуючи місце проколу нагрітої голкою.

3. Визначають масу запафінованого зразка у повітрі m_1 .

4. Визначають масу запафінованого зразка у воді m_2 , шляхом зважування за допомогою спеціального пристрою (рис. 2.1). При цьому необхідно стежити, щоб зразок не торкався стінок ємності і був повністю занурений у воду.

5. Витягають з води запафінований зразок, просушують його фільтрувальним папером і ще раз зважують на повітрі, щоб переконатися, чи не проникла вода у зразок. Якщо виявиться збільшення його маси більше, ніж на 0,02 г порівняно з початкової масою, зразок бракується.

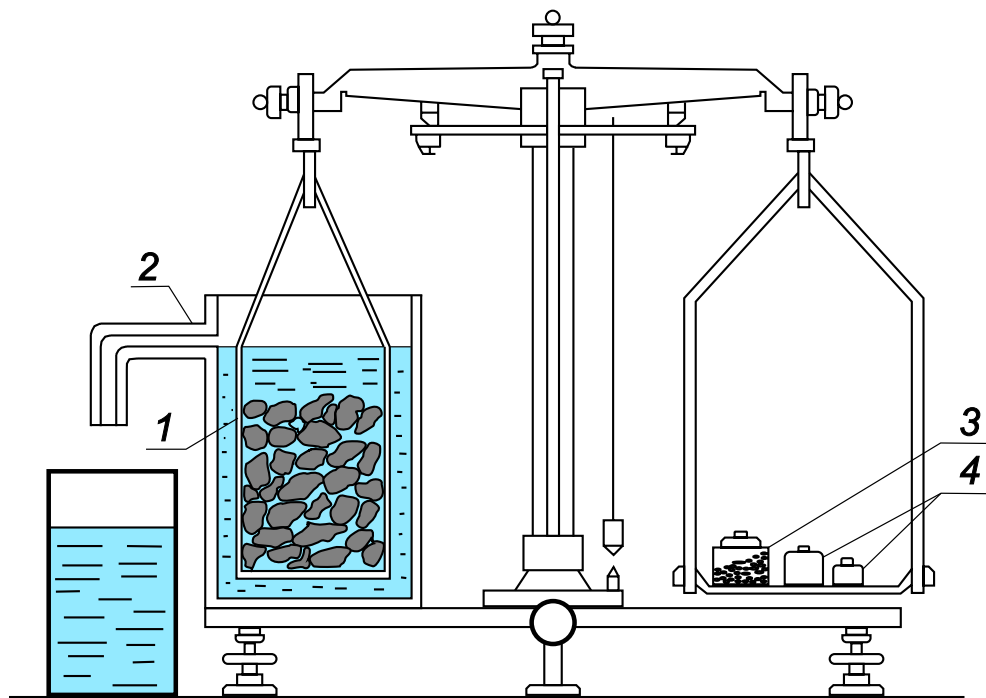


Рисунок 2.1. – Схема гідростатичного зважування

1 – перфорований стакан; 2 – ємність зі зливом води; 3 – стакан з дробом для врівноваження ваг; 4 – ваги

6. Користуючись формулами 2.5 і 2.6 обчислюють щільність породи і результати експерименту записують у табл. 2.3. Розбіжності результатів двох паралельних визначень не повинна перевищувати $0,02 \text{ г/см}^3$.

Таблиця 2.3

Результати визначень

№ п/п	Маса зразка у повітрі, m, г	Маса запарафінованого зразка		Середня щільність ρ , г/см^3	
		У повітрі, m_1 , г	У воді, m_2 , г	Окремого зразка	Середня

Контрольні питання

1. Що називається об'ємною масою гірських порід?
2. У чому полягає сутність методів вимірювання лінійних розмірів, гідростатичного зважування?
3. В яких випадках використовуються метод ріжучого кільця і в чому його сутність?
4. В чому полягає сутність методу гідростатичного зважування?
5. Коли і для чого проводиться парафінування зразків породи?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ НАСИПНОЇ ЩІЛЬНОСТІ І ПУСТОТНОСТІ ПУХКИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Мета роботи: ознайомлення з методикою визначення насипної щільності і пустотності пухких гірських порід.

Загальні відомості

Пухкі породи поділяються на природно пухкі і розпушені в результаті ведення гірничих робіт. Природно пухкі (так звані сипучі) породи – це в першу чергу, піски різної крупності, щебінь і гравій.

Для визначення насипної щільності пухкої породи необхідно знати її масу в мірному циліндрі, заповненим стандартним способом.

Визначення насипної щільності і пустотності порід проводиться за методикою регламентованою п. 4.17 ДСТУ Б В.2.7-71-98 [1], згідно з яким насипну щільність визначають зважуванням певного обсягу породи даної фракції (або суміші фракцій), висушеного до постійної маси.

Апаратура: ваги технічні RADWAG PS 3500/C; сушильна шафа СНОЛ 67/350 з автоматичним терморегулятором; розсів лабораторний РЛУ-3 і набір сит; набір мірних циліндрів (табл. 3.1); штатив з лійкою; сталева лінійка.

Таблиця 3.1. – Геометричні параметри мірного циліндра [1]

Об'єм мірного циліндра, л	Внутрішні розміри циліндра, мм		Фракція породи, мм
	діаметр	висота	
5	185	185	5 - 10
10	234	234	10 - 20
20	294	294	20 - 40
50	400	400	Більше 40

а) Визначення насипної щільності пухких гірських порід

Насипна щільність ρ_n – маса одиниці об'єму пухкої гірської породи в її насипному стані, кг/м³.

Величина насипної щільності залежить від щільності мінеральної фази гірської породи, крупності частинок, вологості, щільності укладання частинок або ущільнення.

Послідовність визначення

1. Породу висушують в сушильній шафі до постійної маси і за допомогою розсіву лабораторного просівають через набір сит.

2. Відповідно до отриманої фракції породи обирають мірний циліндр згідно з таблицею 3.1. Зважують обраний порожній мірний циліндр.

3. Породу насипають в циліндр з висоти 10 см до утворення конуса, який знімають сталевною лінійкою врівень з краями (без ущільнення) рухом до себе, від себе або від середини вліво і вправо (рис. 3.1), після чого циліндр з породою зважують.

4. Величину насипної щільності ρ_n пухкої породи визначають з точністю до 10 кг/м³ як середнє з трьох визначень і обчислюють за формулою:

$$\rho_n = \frac{m - m_0}{V} \quad (3.1)$$

де m_0 – маса порожнього мірного циліндра, г;

m – маса мірного циліндра, заповненого пухкої породою, г;

V – об'єм мірного циліндра, см³.

5. Насипну щільність визначають два рази, при цьому кожен раз беруть нову порцію породи. За результат приймають середньоарифметичне значення двох паралельних випробувань.

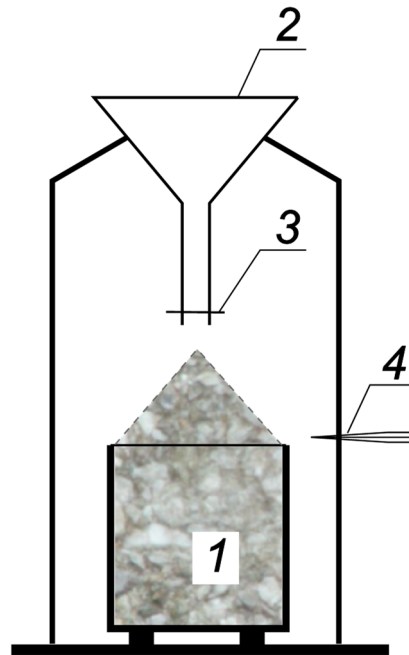


Рисунок 3.1 – Схема заповнення мірного циліндра

1 – мірний циліндр; 2 – воронка; 3 – заслінка; 4 – ніж або лінійка для прибирання конуса з породи

5. Дані визначень записують у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Результати визначень

Маса мірного циліндра m_0 , г	Об'єм мірного циліндра V , см^3	Маса зразка породи, г				Насипна щільність, ρ_n	
		m_1	m_2	m_3	$m_{\text{ср}}$	г/см^3	кг/м^3

б) Визначення пустотності пухких гірських порід

Пустотність ($V_{\text{пуст}}$) – об'єм пустот між зернами насипного матеріалу, виражений в частках одиниці або у відсотках від загального його об'єму і розрахований за формулою:

Пустотність є важливою властивістю сипучих матеріалів і може бути як корисна, наприклад, при спорудженні насипних фільтрів, так і шкідлива,

наприклад, при складанні бетонних і розчинних сумішей, при спорудженні баластного шару доріг.

Послідовність визначення

1. Пустотність визначають розрахунковим шляхом на підставі попередньо встановлених значень середньої щільності породних зерен (ρ_k) за методикою наведеною в лабораторній роботі №2 за формулою 2.5 і насипної щільності ρ_n , за формулою 3.1.

Пустотність $V_{\text{пуст}}, \%$ за об'ємом, визначають за формулою:

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_k}\right) 100\% \quad (3.2)$$

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

ρ_k – середня щільність породи, кг/м^3 .

Контрольні питання

1. Що називається насипною щільністю або насипною масою пухкої породи?
2. В чому полягає сутність методу визначення насипної щільності пухких порід?
3. Які фактори впливають на величину насипної щільності гірських порід?
4. Що характеризує пустотність пухких гірських порід?
5. В яких випадках необхідно визначати пустотність гірських порід.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ГІРСЬКИХ
ПОРІД І КУТУ ПРИРОДНОГО УКОСУ

Мета роботи: ознайомлення з методикою визначення гранулометричного складу гірських порід і куту природного укосу.

Загальні відомості

а) Визначення гранулометричного складу гірських порід

Гранулометричний склад пухкої породи – відсотковий масовий вміст в розпушеній породі груп часток (класів, фракцій) різної крупності. Гранулометричний склад найчастіше зображують графічно у вигляді кумулятивних кривих крупності (рис. 4.1).

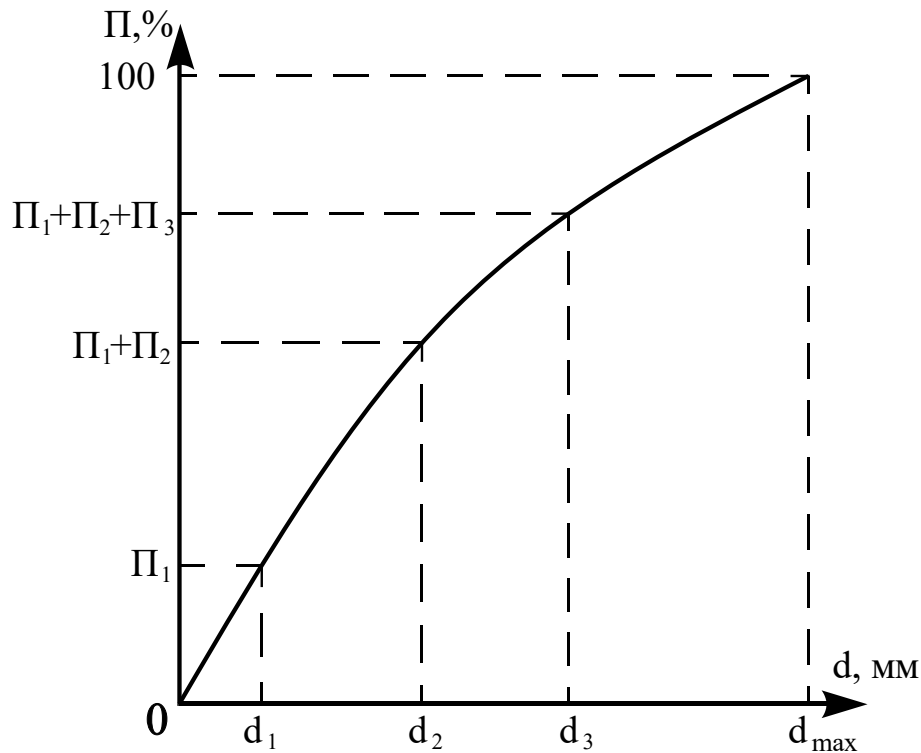


Рисунок 4.1 – Кумулятивна крива крупності

Кумулятивна (сумарна) крива крупності уявляє собою графік побудований за результатами ситового аналізу. По осі абсцис на графіку відкладається фракційний склад пухкої породи (d , мм), а по осі ординат – відповідний відсоток по масі кожної породної фракції (Π , %). Загальна сума окремих класів становить 100% (рис. 4.1). Графік кривої кумулятивної крупності з'єднує точки $(d_1; \Pi_1)$, $(d_2; \Pi_1 + \Pi_2)$, $(d_3; \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3)$ і т.д. $(d_{\max}; 100\%)$.

На практиці в лабораторії кумулятивні криві крупності будуються за результатами ситового аналізу відповідно до набору сит.

Гранулометричний склад характеризуються не тільки у вигляді графіка або таблиці, але й кількісно одним числом. У цьому випадку найбільш часто використовують такі показники: середньозважений діаметр класів або коефіцієнт неоднорідності.

Середньозважений діаметр, мм, класів обчислюють за формулою:

$$d_{\text{cp}} = \frac{\sum_1^n \Pi_i \cdot d_i}{100}, (\text{мм}) \quad (4.1)$$

де Π_i – процентний вміст i -го класу породи, %;

d_i – середній розмір i -го класу породи, мм.

Наприклад, для класу 2,5-5 мм d_i - 3,75 мм.

Коефіцієнт неоднорідності уявляє собою відношення діаметрів класів породи, які відповідають 10 і 60% процентного вмісту відповідно. Тобто:

$$K_H = \frac{d_{10}}{d_{60}}, (\text{од}) \quad (4.2)$$

Значення d_{10} і d_{60} визначаються по кумулятивній кривій крупності графічним методом. Для цього з точок $\Pi = 10\%$ і $\Pi = 60\%$ проводять

горизонтальні лінії до перетину з кривою кумулятивної крупності, а з точок перетину опускають перпендикуляри на вісь d . Отримані точки позначають відповідно d_{10} і d_{60} .

Коефіцієнт неоднорідності не може бути менше одиниці і практично не буває більше 200. Чим менше його величина, тим однорідніше порода.

Апаратура: розсів лабораторний РЛУ-3 і набір сит; ваги технічні RADWAG PS 3500/C.

Послідовність визначення

1. Породу за допомогою розсіву лабораторного просівають через набір сит з діаметрами комірок 0,63; 1,25; 2,5; 5 мм.
2. Зважують породу, що залишилась на кожному ситі і в донці. В результаті отримують масу кожного класу породи. Результати заносять до таблиці 4.1.
3. Відповідно до отриманих результатів встановлюють процентний вміст кожного класу породи.
4. За отриманими значеннями будують кумулятивну криву крупності.
5. Користуючись формулою 4.1 розраховують середньозважений діаметр класів.
6. Графічним методом по кумулятивній кривій крупності визначають величини d_{60} і d_{10} .
5. За формулою (4.2) розраховують коефіцієнт неоднорідності. Результати розрахунків заносять до таблиці 4.1.

б) Визначення куту природного укосу

Кут природного укосу α – кут, утворений бічною поверхнею пухкої породи з горизонтальною площиною.

Величина кута природного укосу залежить від мінерального складу породи, вологості, форми і шорсткості окремих шматків і гранулометричного складу.

Таблиця 4.1.

Результати розрахунків

Розмір класу, мм	Середній діаметр класу, мм	Відсотковий вміст класу, П, %	Середньо- зважений діаметр, мм	d_{60} , мм	d_{10} , мм	Коефіцієнт неоднорідності, од
0 – 0,63						
0,63 – 1,25						
1,25 – 2,5						
2,5 – 5						

Лабораторна установка для визначення кута природного укосу представлена на рис. 4.2.

Ця величина визначається за допомогою полого циліндра 2, що не має верхнього і нижнього дна, поставленого на горизонтальний майданчик 1. Діаметр циліндра повинен перевищувати максимальний розмір шматків досліджуваної породи в 7-10 разів.

На горизонтальній площадці установки нанесена шкала відліку у вигляді концентричних кіл через 1 см.

Для визначення кута природного укосу породу засипають в порожній циліндр, що стоїть в центрі майданчика, потім циліндр повільно піднімають і прибирають; порода залишається на майданчику, і її бокова поверхня становить з горизонтальною поверхнею кут природного укосу.

Для визначення величини α на горизонтальній площадці в чотирьох точках, розташованих через 90 °, визначають радіус розвалу породи R_i , потім обчислює середню величину R і заміряють висоту утворився конуса H . Кут природного укосу, град, обчислюють за формулою:

$$\alpha = \arctg \frac{H}{R} \text{ (град)} \quad (4.3)$$

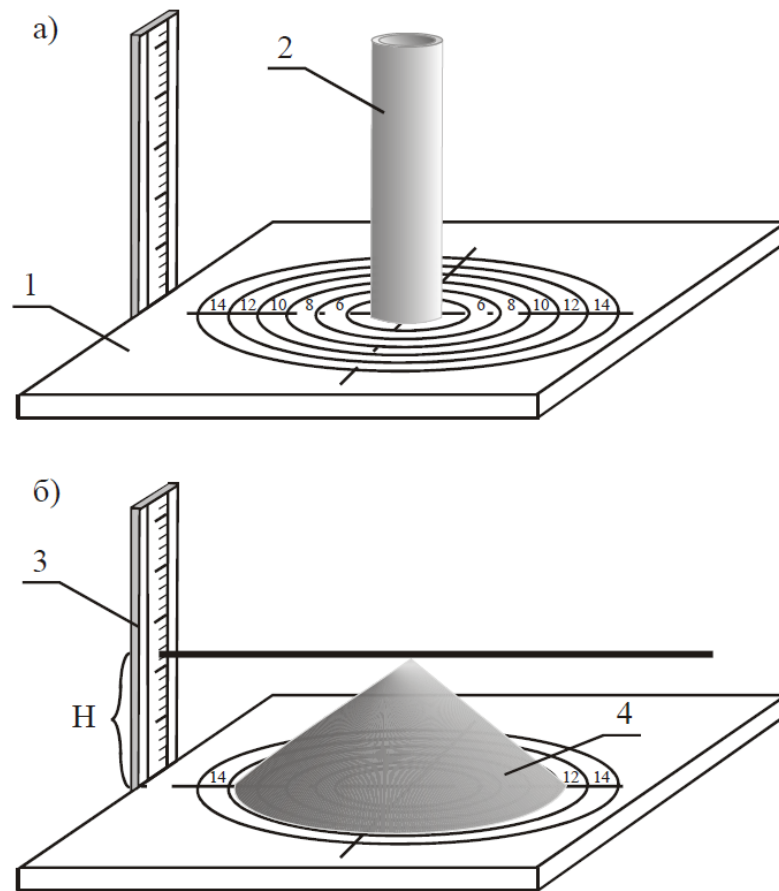


Рисунок 4.2 – Установка для визначення кута природного укосу:

- 1 – горизонтальна площадка зі шкалою відліку;
2 – порожній циліндр; 3 – лінійка; 4 – конус породи.

Апаратура: горизонтальна площадка зі шкалою відліку у вигляді концентричних кіл; полий циліндр, сталева лінійка.

Послідовність визначення

1. Підготовлена порода, совком засипається в порожній циліндр.
2. Циліндр повільно піднімається таким чином, щоб утворився породний конус.

3. За допомогою лінійки визначають радіуси основи конуса в двох взаємно перпендикулярних напрямках R_1 , R_2 , R_3 , R_4 і висоту конуса H . Результати записують в табл. 4.2.

4. Розраховують середній радіус породного конуса R , см, за формулою:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{4}, \text{ мм} \quad (4.4)$$

5. Для кожної породи експеримент повторюється тричі.

6. За формулою (4.3) обчислюється величина кута природного укосу для всіх трьох експериментів і результати заносять в табл.4.2.

Таблиця 4.2. – результати розрахунків

Порода	Радіуси розвалу породи, см				Середня величина радіусу R , см	Висота конуса породи H , см	Кут природного укосу α , град	Середній кут природного укосу α , град
	R_1	R_2	R_3	R_4				

Контрольні питання

1. Що називається кумулятивною кривою крупності?
2. Які показники характеризують гранулометричний склад порід?
3. Яке практичне значення кумулятивних кривих крупності?
4. Які фактори впливають на кут природного укосу?
5. В чому полягає сутність методики визначення куту природного укосу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Мета роботи: ознайомлення з методиками визначення меж міцності при розтягуванні і стисненні. Визначення межі міцності гірських порід.

Загальні відомості

Межа міцності породи визначається величиною максимальних напружень, при яких порушується її суцільність. Ці напруження різні для різних порід і для різних видів навантаження (стиск, розтягування, зсув). В залежності від виду напружень, що викликають руйнування порід, розрізняють межі міцності на стиснення, розтягування, зсув, вигин і т. д.

В основному використовуються наступні методи визначення міцності порід при одновісному стисненні:

1. Визначення міцності зразків правильної форми (рис. 5.1, а).

У відповідності з міжнародними стандартами ASTM D4543 - 19 [2], ASTM D7012 - 14e1 [3] повинні виготовлятися зразки циліндричної форми з відношенням висоти до діаметра, рівним 2-2,5. В якості норми рекомендується циліндричний зразок діаметром не менше 47 мм. Відхилення від цих розмірів допускається в межах 5 %.

Можуть застосовуватися зразки у вигляді призм з квадратною основою згідно стандарту ГОСТ 21153.2-84 [4] переважно зі стороною квадрата основи розміром 42x42 мм з точністю виготовлення 2мм з відношенням висоти до сторони 1,0; 2,0; допустимий діапазон 30-80 мм з відношенням висоти до сторони 0,7-2,0. Торці зразків повинні бути строго паралельними і відшліфованими.

2. Метод співвісних пуансонів ГОСТ 21153.2-84 [4] ASTM D5731-07 [5] (рис. 5.1, 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.

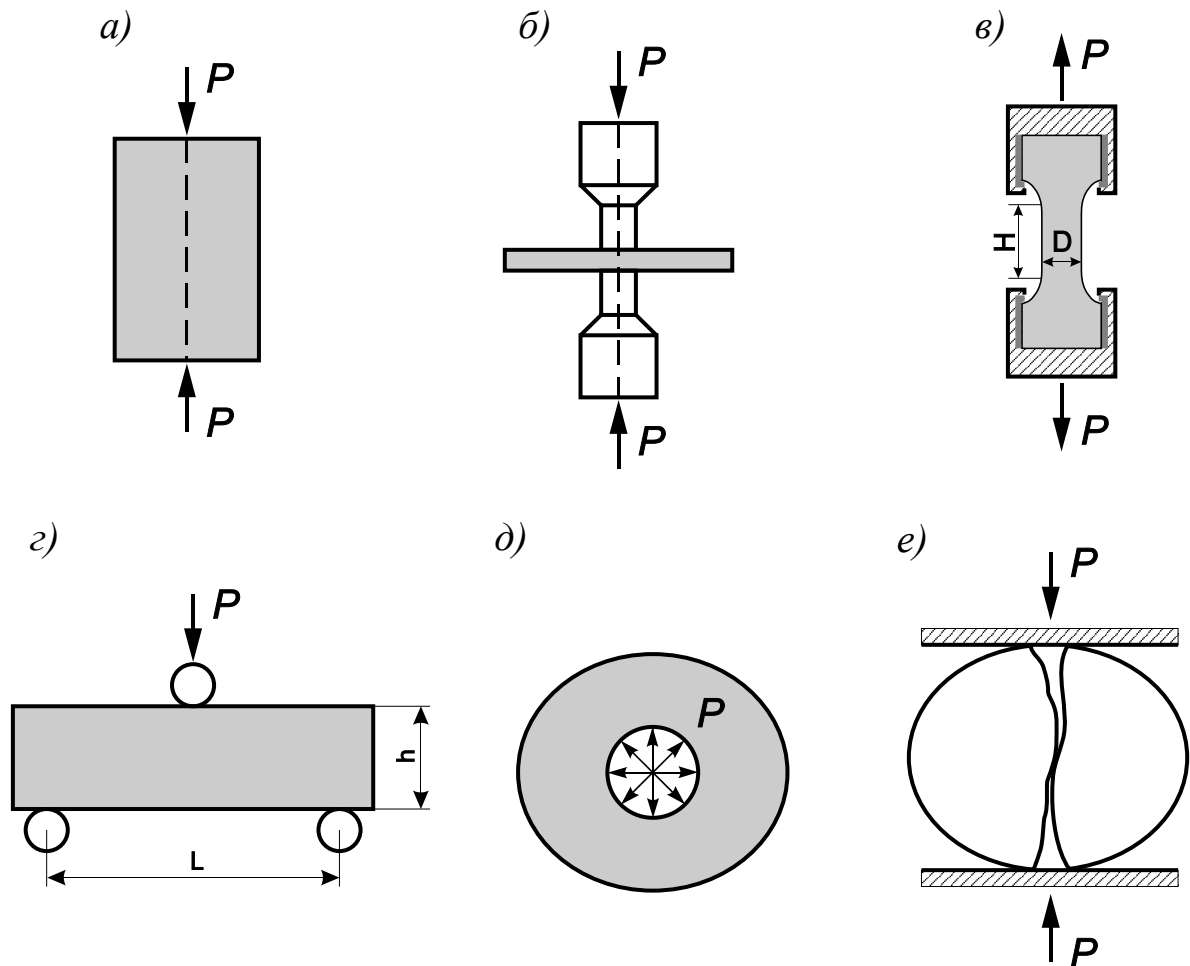


Рисунок 5.1 – Методи визначення міцності гірських порід

а) метод визначення межі міцності на одновісний стиск на зразках правильної форми; б) метод співвісних пуансонів; в) метод прямого розтягування; г) метод вигину пластин або балок; д) метод розриву зразків; е) метод діаметрального стиснення (бразильський метод)

Методи визначення міцності при розтягуванні поділяються на наступні групи:

1. Методи прямого розтягування ASTM D2936-08 [6] (рис. 5.1, в) полягають у безпосередньому розриві зразка. Внаслідок складності виготовлення фігурних зразків і фактичного руйнування не в розрахункових

перерізах, а в місцях концентрації напружень на неоднорідностях породи, ця група методів для гірських порід практично не застосовується.

2. Методи вигину пластин або балок [7] (рис. 5.1, г). Істотним недоліком визначення міцності при розтягуванні цими методами є те, що розтягувальні 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. 5.1, 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 (бразильський метод) ГОСТ 21153.3-85 [8], ASTM D3967 – 08 [9] (рис. 5.1, 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 масових випробувань порід, що мають крихкий характер руйнування.

Міцність при розтягуванні σ_p визначається за формулою (при навантаженні циліндричного зразка плитами):

$$\sigma_p = \frac{2P}{\pi \cdot F} = \frac{0,637P}{F}, \text{ МПа} \quad (5.1)$$

де P – руйнуюче навантаження, Н;

F – площа поперечного перерізу зразка, м^2 .

Апаратура: прес гідравлічний; лінійка; штангенциркуль.

а) Метод одноосьового стиснення зразків правильної форми плоскими плитами

Сутність методу полягає у вимірюванні максимального значення руйнівного тиску, прикладеного до плоских торців правильного циліндричного або призматичного зразка через плоскі сталеві плити ГОСТ 21153.2-84 [4].

Для проведення випробування застосовують обладнання, інструменти та матеріали по ГОСТ 21153.0 з наступними доповненнями:

- верстат обдірочно-шліфувальний будь-якої конструкції з плоским чавунним диском, що обертається навколо вертикальної осі, або верстат плоскошліфувальний типу ЗГ710 - для виготовлення зразків;
- машини випробувальні або преси, що відповідають вимогам ГОСТ 28840 і ГОСТ 9753, максимальне зусилля яких не менше ніж на 20-30% перевищує граничне навантаження на зразок;
- плити сталеві товщиною не менше 0,3 діаметра (сторони квадрата) зразка і діаметром, що на 3-5 мм перевищує діаметр (діагональ квадрата) зразка, які мають плоскопаралельні робочі поверхні (допускається відхилення від площинності 0,02 мм і паралельності 0,01 мм) з класом шорсткості не нижче 7 по ГОСТ 2789 і твердістю по Роквеллу HRC 55-60 од., - застосовують в якості прокладок між торцями зразків і опорними плитами випробувальної машини в разі, якщо випробувальна машина оснащена верхній підвісний сферичної плитою;
- пристрої установчі, оснащені сферичним шарніром – застосовують при відсутності на випробувальній машині верхньої підвісної сферичної плити;
- шліфпорошок № 12-8 по ГОСТ 3647 – для доведення торців зразків.

Послідовність визначення

1. Підготовлені згідно вимог [2, 3, 4] зразки породи циліндричної форми за допомогою штангенциркуля перевіряються на відповідність торцевих поверхонь допускам (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – результати розрахунків

Назва допуску	Розміри допуску, мм, при дослідженнях	
	порівняльних	масових
Відхилення від площинності	0,03	0,05
Відхилення від паралельності	0,20	0,40
Відхилення від перпендикулярності	0,50	1,00

2. Зразок розміщують між сталевими плитами преса, поєднуючи вісь зразка з центром нижньої опорної плити випробувальної машини, навантажують рівномірно до руйнування зі швидкістю 1-5 МПа / с.

3. Записують максимальну величину руйнуючої зразок сили P в кілоньютонах, зафіксовану силовимірювачем преса, із зазначенням відношення висоти зразка до його діаметра $m=h/d$.

4. Значення межі міцності при одноосьовому стисканні ($\sigma_{ст}$) в МПа обчислюють за формулою:

$$\sigma_{ст} = k_a \frac{P}{S} 10, \text{ МПа} \quad (5.2)$$

де P – руйнуюча зразок сила, кН;

S – площа поперечного перерізу зразка, см²;

k_a – безрозмірний коефіцієнт висоти зразка, рівний 1,00 при відношенні висоти до діаметру $2 \pm 0,05$. Для інших значень відношення коефіцієнт встановлюють по табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Значення безрозмірного коефіцієнту висоти зразка

$m=h/d$	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
k_a	0,68	0,72	0,76	0,80	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00

6. Результати експериментів заносять в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3.

Результати розрахунків

Висота зразка, h см	Діаметр зразка, d , см	Відношення, $m=h/d$, од	Руйнуюча зразок сила, P , кН	Площа поперечного перерізу зразка, S см ²	Коефіцієнт висоти зразка k_a	Межа міцності при одноосьовому стисканні $\sigma_{ст}$, МПа

б) Метод руйнування зразків-плиток плоскими співвісними пуансонами

Сутність методу полягає у вимірюванні максимальної руйнуючої сили, яка додається до торців зразка через сталеві плоскі зустрічно і співвісно спрямовані пуансони ГОСТ 21153.2-84 [4].

Для проведення випробування застосовують обладнання, інструменти та матеріали по ГОСТ 21153.0 з таким доповненням:

- пристрій навантажувальний (рис. 5.2) або будь-якої іншої конструкції, що встановлюється на опорну плиту випробувальної машини, що забезпечує зустрічно-співвісне додавання навантаження до торців зразка через сталеві пуансони діаметром 11,27-0,011 мм (або пуансони діаметром 7,98-0,009 мм) з плоскопаралельними торцевими поверхнями, клас шорсткості яких не нижче 7 по ГОСТ 2789 і твердість по Роквеллу HRC 60-65 од. Допустиме відхилення співвісності пуансонів - 0,1 мм. Допустиме відхилення торцевих площин від площинності і паралельності - 0,2 мм.

Для випробування виготовляють зразки-плитки у вигляді дисків. Допускається виготовляти зразки-плитки неправильної форми в плані з необробленими бічними поверхнями за умови, що контури їх торців та бокових поверхонь дозволяють вписати диск необхідного розміру. (

Зразки повинні мати такі розміри: діаметр – від 30 до 100 мм; висота від 10 до 12 мм (для порід з межею міцності при одноосьовому стисканні не більше 120 МПа), або від 7,5 до 8,5 мм (для порід з межею міцності при одноосьовому

стисканні понад 100 МПа). Вимірювання проводять штангенциркулем. Діаметр вимірюють в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Допустима похибка вимірювання ± 1 мм. За розрахунковий діаметр приймають менший. Висоту вимірюють в середньому перерізі. Допустима похибка вимірювання $\pm 0,1$ мм

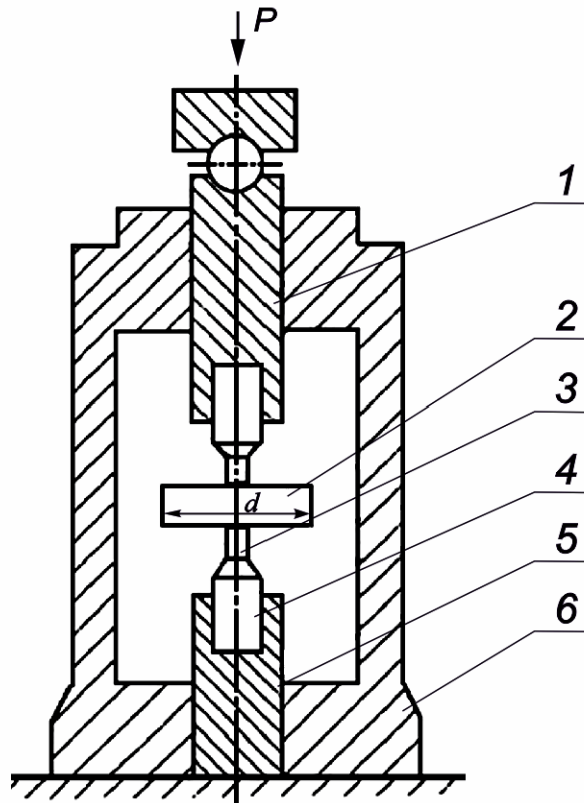


Рисунок 5.2.– Навантажувальний пристрій:

1 – верхній шток; 2 – зразок; 3 – пуансон; 4 – вкладиш; 5 – нижній шток;
6 – корпус

Послідовність визначення

1. Підготовлені згідно вимог [4] зразки породи за допомогою штангенциркуля перевіряються на відповідність торцевих поверхонь вимогам:

- торцеві поверхні зразка повинні бути плоскими і паралельними один одному;

- допустиме відхилення від площинності 0,03 мм в межах зони контакту зразка з пуансонами і 0,05 мм по всій поверхні.

- зона контакту – коло радіусом 10 мм з центром на осі навантаження;

- допустиме відхилення від паралельності на діаметрі зразка – 0,1 мм.

2. Зразок поміщають між пуансоном навантажувального, встановленого в центрі опорної плити преса, поєднуючи центр диска з віссю навантаження.

3. Зразок навантажують через пуансони рівномірно до руйнування зі швидкістю 0,1-0,5 кН / с.

4. Значення межі міцності при одноосьовому стисканні ($\sigma_{ст}$) в МПа обчислюють за формулою:

$$\sigma_{ст} = \frac{P}{S_y} 10, \text{ МПа} \quad (5.2)$$

де P – руйнуюча зразок сила, кН;

S_y – умовна площа поперечного перерізу зразка, см^2 , встановлюється за табл. 5.4.

Таблиця 5.4.

Залежність умовної площі поперечного перерізу зразка від його діаметру

Діаметр зразка (диска), мм	30	40	50	60	70	80	90	100
Умовна площа, см^2 : при пуансоні діаметром 11,27 мм	1,52	1,79	2,03	2,26	2,50	2,72	2,94	3,16
при пуансоні діаметром 7,89 мм	0,90	1,06	1,23	1,39	1,56	1,72	1,89	2,05

5. Результати експериментів заносять в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5.

Результати експерименту

Висота зразка, h см	Діаметр зразка, d , см	Діаметр пуансона, мм	Умовна площа, S_y , см^2	Руйнуюча зразок сила, P , кН	Межа міцності при одноосьовому стисканні $\sigma_{ст}$, МПа

Контрольні питання

1. Методи визначення міцності порід при одновісному стисненні.
2. Методи визначення міцності порід при одновісному розтягуванні.
3. В чому полягає сутність методу одноосьового стиснення зразків правильної форми плоскими плитами?
4. Які вимоги ставляться до зразків при випробуванні їх методом одноосьового стиснення зразків правильної форми плоскими плитами?
5. В чому полягає сутність методу руйнування зразків-плиток плоскими співвісними пуансонами?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ, ОБ'ЄМНОЇ МАСИ І МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ГІРСЬКИХ ПОРІД УЛЬТРАЗВУКОВИМ МЕТОДОМ

Мета роботи: ознайомлення з обладнанням і методикою визначення міцності, об'ємної маси і модуля пружності гірських порід динамічним методом.

Загальні відомості

Для проведення досліджень використовується прилад NOVOTEST ІПСМ. Робота приладу заснована на вимірюванні часу проходження ультразвукового імпульсу в зразках гірської породи або будівельних матеріалів від випромінювача до приймача. Швидкість ультразвуку обчислюється діленням відстані між випромінювачем і приймачем на вимірний час.

Швидкість поширення ультразвукової хвилі в матеріалі залежить від його щільності і пружності, від наявності дефектів (тріщин і порожнеч), що визначають міцність і якість. В результаті можна отримувати інформацію щодо:

- міцності і однорідності;
- модуля пружності і щільності;
- наявності дефектів і їх локалізації.

Можливі варіанти прозвучування з мастилом (рис. 6.1) і сухим контактом (протектори, конусні насадки) (рис. 6.2).

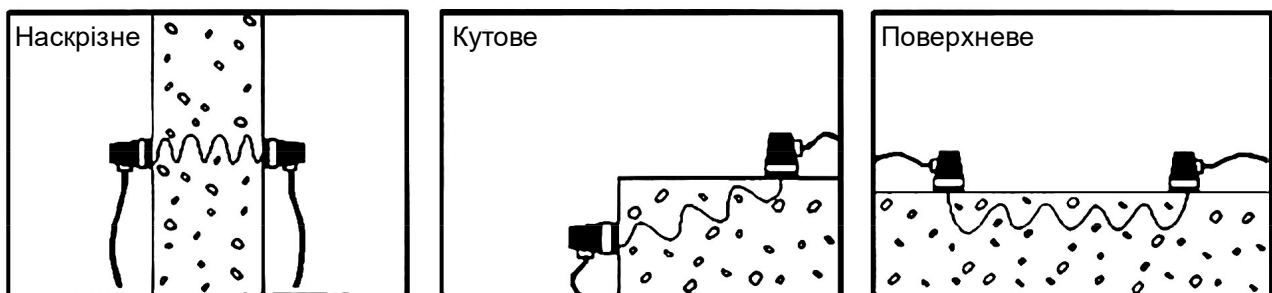


Рисунок 6.1. – Методи прозвучування з мастилом

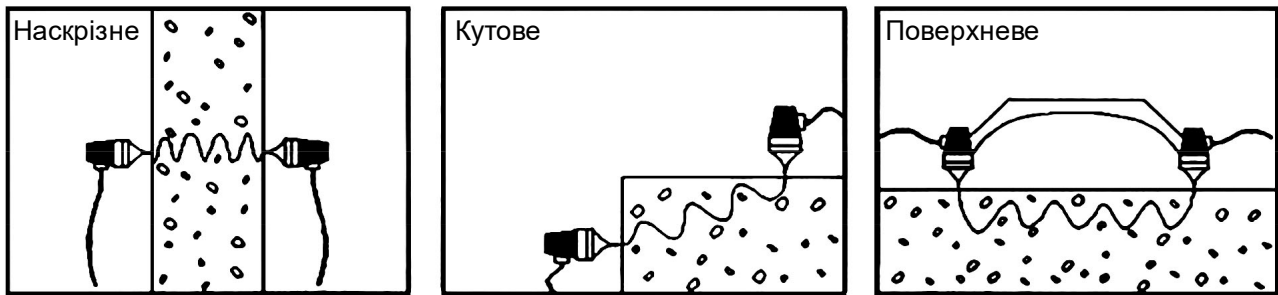


Рисунок 6.2. – Методи прозвучування сухим контактом

Прилад здійснює візуалізацію прийнятих ультразвукових коливань (УЗК) (в режимі дефектоскопа), має вбудовані цифрові фільтри, що поліпшують відношення сигнал/шум. мітки першого прийнятого сигналу.

Конструкція приладу.

Конструкція приладу складається з електронного блоку, виконаного з ударостійкого ABS пластику, захисного силіконового бамперу, а також з приєднаних за допомогою роз'єму (Lemo) перетворювачів. Управління приладом здійснюється за допомогою клавіатури. Візуалізація сигналів, а також індикація результатів вимірювань, стану приладу та іншої інформації здійснюється на графічному індикаторі.

Підключення поверхневого датчика, а також перетворювачів для наскрізного прозвучування здійснюється за допомогою коаксіальних кабелів, через роз'єми Lemo, які розташовані на верхній панелі корпусу. Для підключення приладу до ПК на бічній стороні знаходиться спеціальний роз'єм. Живлення приладу здійснюється від двох акумуляторів типу АА.

На рис. 6.3 вказані складові частини приладу.

Клавіатура управління приладом



«» – включення і виключення приладу при тривалому натисканні; ліва функціональна кнопка;



«» – права функціональна кнопка;



«» – кнопка вибору режиму роботи;

«» – кнопка вибору параметра;

«» – переміщення вгору в меню приладу, збільшення змінюваного значення;

«» – переміщення вниз в меню приладу, зменшення вимірюваного значення.



Рисунок 6.3. – Вимірювач NOVOTEST ІПСМ:

1 – графічний індикатор; 2 – клавіатура управління; 3 – електронний блок;
 4 – штекер Lemo перетворювача; 5 – гніздо Lemo; 6 – різьбові з'єднання для закріплення кришки; 7 – відсік для батарей; 8 – стрічка для вилучення батарей;
 9 – акумулятор типу AA; 10 – гвинт; 11 – роз'єм для підключення приладу до РС; 12 – кришка батарейного відсіку.

Перетворювачі.

Прилад розрахований на роботу роздільних ультразвукових (УЗ) перетворювачів з робочими частотами в діапазоні 60 і 100 кГц. В роботі приладу використовуються два типи перетворювачів: які потребують контактне мастило для роботи і такі, що працюють без контактного мастила.

УЗ перетворювачі, які не потребують контактного мастила забезпечені конічними протекторами і завдяки практично точковому акустичному контакту перетворювачів з поверхнею досліджуваного матеріалу, їх акустичний зв'язок з об'єктом контролю (ОК) забезпечується без контактних рідин.

Режими роботи.

Прилад працює в наступних режимах:

1. «ВИМІРЮВАННЯ»;
2. «КОЕФІЦІЄНТ»;
3. «КАЛІБРУВАННЯ»;
4. «ПОРІГ»;
5. «ПІДСВІЧУВАННЯ»;
6. «ЖИВЛЕННЯ»;
7. «ПАМ'ЯТЬ»;
8. «ІНФОРМАЦІЯ.»

Перехід між режимами вимірювання приладу здійснюється натисканням кнопки «».

Проведення вимірювальних робіт.

Експлуатація приладу повинна проводитися в умовах захищеності від безпосереднього впливу пилу і агресивних середовищ, з урахуванням параметрів контрольованих об'єктів, відповідно до обумовлених технічними характеристиками, а також прилад необхідно використовувати в межах його технічних характеристик.

Напруженість поля радіоперешкод в місці розміщення приладу не повинна перевищувати значення, що порушує працездатність, тобто створює на вході підсилювача приладу напругу, що перевищує половину максимальної чутливості.

При високій напруженості поля радіоперешкоди повинні бути вжиті заходи по екрануванню місця розміщення приладу від зовнішнього електромагнітного поля.

Підготовка об'єкта контролю.

В зоні контакту ультразвукових перетворювачів з поверхнею зони контролю не повинно бути раковин і повітряних пор глибиною більше 3 мм, і діаметром більш 6 мм, а також виступів висотою більше 0,5 мм. Поверхня зони контролю повинна бути очищена від пилу.

Включення.

Включити прилад тривалим натисканням клавіші «» на панелі управління до появи короткочасної заставки на дисплеї.

Після цього прилад автоматично переходить в основний режим роботи (режим "ВИМІРЮВАННЯ", а в ньому прилад переходить в режим, який був перед виключенням приладу).

Тривале натискання на клавішу «» призводить до виключення приладу.

Режим «ВИМІРЮВАННЯ»

У режимі «ВИМІРЮВАННЯ» можна:

- визначити міцність;
- визначити щільність;
- визначити модуль пружності.

Для проведення вимірювань необхідно вибрати відповідний режим роботи. Перехід між режимами вимірювання приладу здійснюється натисканням кнопки «».

Режим вимірювання міцності.

Індикатор приладу при включенні режиму визначення міцності має вигляд як на рис. 6.4.

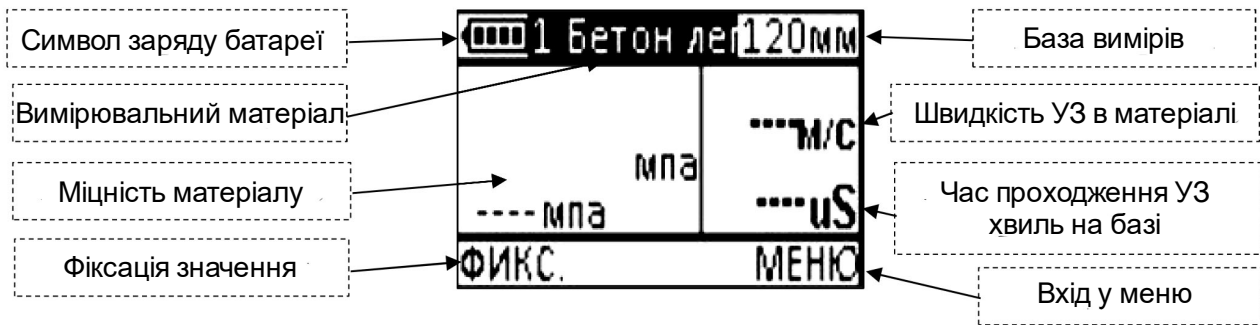


Рисунок 6.4. – Режим вимірювання міцності

Режим вимірювання щільності

Індикатор приладу при включенні режиму вимірювання щільності має вигляд як на рис. 6.5.

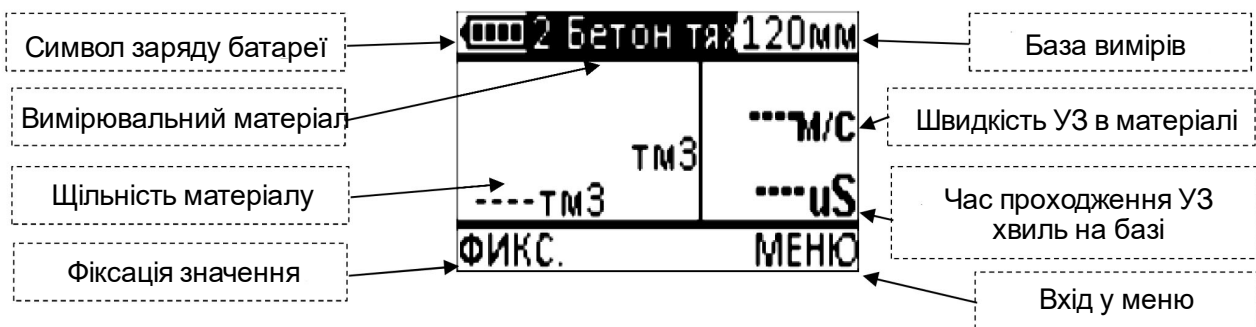


Рисунок 6.5. – Режим вимірювання щільності

Режим вимірювання модуля пружності

Індикатор приладу при включенні режиму вимірювання модуля пружності має вигляд як на рис. 6.6.

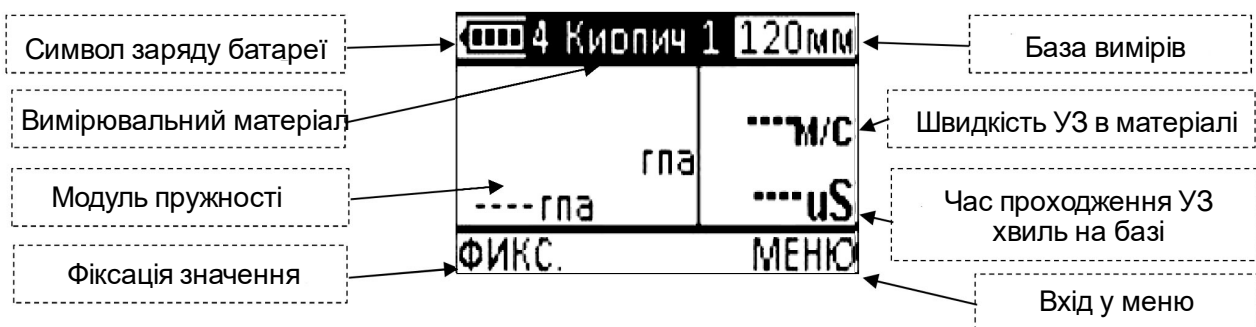


Рисунок 6.6. – Режим вимірювання модуля пружності

Вибір матеріалу і бази вимірювання

Обраний матеріал і база вимірювання відображаються у верхній частині індикатора, в одному рядку з символом заряду батареї. Вибір змінюваного параметра (матеріалу або бази) здійснюється натисканням кнопки «»». Обраний параметр стає інверсним. Зміна параметра виконується натисканням кнопок «» або «».

Передача даних на ПК.

Для збору даних, збережених в пам'яті приладу, необхідно підключити прилад до ПК, зайти на приладі в меню "ПАМ'ЯТЬ" і вибрати в підміню пункт "ПЕРЕДАТИ У РС", після чого дані з архіву передадуться на ПК і відобразяться в програмі у вигляді таблиці.

Апаратура: Вимірювач NOVOTEST ІПСМ з УЗ перетворювачами, які не потребують контактної мастила (забезпечені конічними протекторами).

Метод поверхневого прозвучування

Поверхнєве прозвучування проводиться з датчиком поверхневого прозвучування в зборі на фіксованій базі (120 ± 6) мм.

Послідовність визначення

1. До приладу підключається датчик поверхневого прозвучування;
2. Готується зразки: тестовий і зразок для якого будуть проводитись виміри;
3. Тривалим натисканням кнопки «» включається прилад;
4. Проводиться калібрування приладу шляхом проведення тестового вимірювання на калібрувальному зразку. Вибір режиму роботи приладу «КАЛІБРУВАННЯ»;

5. Вибирається матеріал об'єкта контролю з бази або з меню «КОЕФІЦІЄНТИ». Для визначення фізико-механічних характеристик гірських порід в навчальних цілях допускається використовувати матеріал з бази «БЕТОН 2 ВАЖКИЙ»;

6. Датчик встановлюється на поверхню зразка, для якого ведуться виміри, конусними насадками, утримується нерухомо в площині перпендикулярній до поверхні і притискається із зусиллям 5 – 10 кг (рис. 6.7);



Рисунок 6.7.– Поверхнєве прозвучування

7. Контролюючи на індикаторі приладу час T , переконуються в його стабільності і при відхиленнях часу на 0,1...0,2 мкс від значення, що діагностується. Натискаючи кнопку «Р» обирають параметр, що вимірюється: міцність, об'ємна вага, модуль пружності. Фіксація числового значення параметру проводиться функціональною кнопкою «».

8. Кожен вимір серії фіксується натисканням функціональної кнопки «»;

9. Перегляд зафіксованих результатів вимірювань здійснюється в меню «ПАМ'ЯТЬ».

10. Результати вимірів заносять в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1.

Результати вимірів

Фіксована база, мм	Міцність, МПа	Об'ємна вага, т/м ³	Динамічний модуль пружності, МПа
(120 ±6)			

Контрольні питання

1. Який принцип роботи використано в приладі NOVOTEST ІПСМ?
2. Методи прозвучування сухим контактом і з мастилом.
3. Яка конструкція приладу NOVOTEST ІПСМ?
4. В чому полягає методика вимірювання міцності і об'ємної ваги приладом NOVOTEST ІПСМ?
5. В чому полягає сутність методу поверхневого прозвучування?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (ГОСТ 8269.0-97). С поправкой.
2. ASTM D4543 - 19 Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances.
3. ASTM D7012 - 14e1 Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Modul of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures.
4. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. 1984. 7с.
5. ASTM D5731-07 (2007) Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications, 11p.
6. ASTM D2936-08 Standard Test Method for Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens.
7. Franklin J.A., Dusseault M.B. (1989) Rock engineering. McGraw-Hill, New York, p. 600.
8. ГОСТ 21153.3-85 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении.
9. ASTM D3967 – 08 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens.
10. Керівництво з експлуатації вимірювача міцності «NOVOTEST ІПСМ»
URL: https://novotest.ua/images/passporta/kontrol-stroitelnyh-materialov/РЭ_Измеритель%20прочности%20ИПСМ%20V3.1.pdf (дата звернення 01.03.2021р.)