

О.О. Жданова, аспір.
А.М. Самедов, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «КПІ»

ПРУЖНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛАНЦЕВИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Розглянуто взаємозв'язок пружних характеристик сланцевих гірських порід, які широко використовуються при розрахунку, конструюванні та виготовленні підземних споруд.

Вступ. Постановка проблеми. При видобутку корисних копалин у вигляді відходів на земну поверхню потрапляє велика кількість сланцевих гірських порід. Ці породи складають у відвали, які займають величезні земельні площі, та з плином часу відбувається їх саморуйнування, що призводить до забруднення навколишнього середовища. Тому утилізація цих порід, а саме, їх використання для потреб підземного будівництва і є актуальною проблемою.

Виготовлення конструкцій підземних споруд зі сланцевих гірських порід вимагають знання головних властивостей останніх, а саме: міцнісних та деформативних властивостей, пружних характеристик, а також поведінки цих матеріалів при статичних, динамічних та інших впливах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У технічній літературі [1–8] надано деякі властивості сланцевих гірських порід, проте пружні характеристики цих порід необхідні для використання щебенів зі сланцевих порід при виготовленні конструкцій підземних споруд, досліджені не були.

Метою роботи є встановлення взаємозв'язку між пружними характеристиками сланцевих порід, що використовуються при розрахунку конструкцій підземних споруд, виготовлених на основі щебенів з цих гірських порід.

Викладення основного матеріалу. Для кожного виду прикладених напруг існує свій коефіцієнт пропорційності між напруженнями та пружними деформаціями, які є параметрами пружних властивостей. Коефіцієнт пропорційності між нормальною напругою σ (стискаючою або розтягуючою) і відповідною їй відносною поздовжньою деформацією ε_{pr} характеризується модулем пружності E :

$$\sigma = \varepsilon_{pr} \cdot E \quad \text{або} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{pr}}. \quad (1)$$

Коефіцієнт пропорційності між дотичним напруженням τ і відповідною деформацією зсуву ε_{sd} є модулем зсуву G :

$$\tau = G \cdot \varepsilon_{sd} \quad \text{або} \quad G = \frac{\tau}{\varepsilon_{sd}}. \quad (2)$$

Модуль пружності E , що визначається за даними випробувань на компресійному приладі, та модуль зсуву G вважаються основними пружними характеристиками породи.

У випадку об'ємного напруженого стану породи зв'язок між напругою σ і відносною зміною обсягу $(\frac{\Delta V}{V})$ виражається через модуль всебічного стиску K , що визначається за формулою:

$$K = \frac{\Delta V}{V} = \frac{EG}{3(G-E)} = \frac{E}{3(1-2\mu)}, \quad (3)$$

де V – обсяг, м^3 ; ΔV – збільшення обсягу, м^3 .

Для пухких порід (грунтів) використовують модуль однобічного стиску M – коефіцієнт пропорційності між поздовжньою напругою та відповідною йому деформацією при розміщенні проби в циліндрі з твердими стінками – визначається за формулою:

$$M = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}. \quad (4)$$

Також у розрахунках використовують ще один пружний параметр – коефіцієнт Пуассона μ , що є коефіцієнтом пропорційності між відносними поздовжніми $\frac{\Delta l}{l}$ та відносними поперечними $\frac{\Delta l_{pop}}{l_{pop}}$ деформаціями:

$$\frac{\Delta l_{pop}}{l_{pop}} = \mu \frac{\Delta l}{l}, \quad (5)$$

де Δl та Δl_{pop} – збільшення поздовжньої та поперечної довжини зразків; l і l_{pop} – відповідно поздовжній і поперечні довжини зразків.

Коефіцієнт Пуассона – величина безрозмірна, пов’язана з величинами E і G таким рівнянням:

$$\mu = \frac{E - 2G}{2G} = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{\lambda}{2(\lambda + \nu_l)} \tag{6}$$

Всі пружні параметри пов’язані між собою такими співвідношеннями:

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}; E = \frac{\nu_l(3\lambda + 2\nu_l)}{\lambda + \nu_l}; \nu_l = K \frac{3(1 - 2\mu)}{2(1 + \mu)} = \frac{E}{2(1 + \mu)} \tag{7}$$

де λ і ν_l – постійні Ламе.

Для ізотропних тіл досить знати лише два пружних параметри (табл. 1) інші параметри можуть бути обчислені за співвідношеннями теорії пружності як показано на рисунку 1.

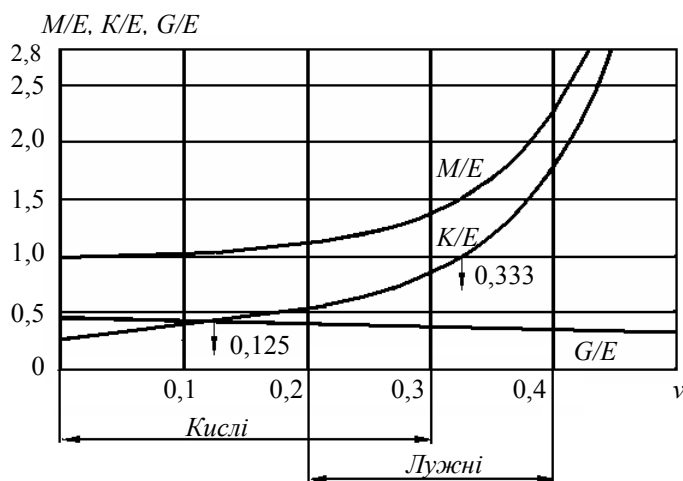


Рис. 1. Графік співвідношення пружних властивостей порід

Найчастіше в розрахунках як основні параметри використовують модуль пружності E та коефіцієнт Пуассона μ , визначені експериментально.

Якщо зразок породи зазнає об’ємного напруженого стану, необхідно враховувати деформації і напруги у всіх напрямках. Такий стан зразка породи може виражатися узагальненим законом Гука, а саме: залежністю між нормальними напругами та деформаціями:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)] \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)] \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – компоненти нормальних напруг.

Таблиця 1

Взаємозв’язок пружних властивостей порід

Відомі параметри	Параметр				
	E	K	G	μ	M
K, E	-	-	$\frac{3\hat{E} \cdot \hat{A}}{9\hat{E} - \hat{A}}$	$\frac{1}{2} - \frac{\hat{A}}{6\hat{E}}$	$\frac{3\hat{E}(3K + \hat{A})}{9\hat{E} - \hat{A}}$
G, E	-	$\frac{\hat{A} \cdot G}{3(3G - \hat{A})}$	-	$\frac{E}{2G} - 1$	$\frac{G(4G - E)}{3G - \hat{A}}$

E, μ	-	$\frac{E}{3(1-2\mu)}$	$\frac{E}{2(1+\mu)}$	-	$\frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)}$
K, G	$\frac{9\hat{E} \cdot G}{3\hat{E} + G}$	-	-	$\frac{3\hat{E} - 2G}{2(3\hat{E} + G)}$	$K + \frac{4}{3}G$
K, μ	$3K(1-2\mu)$	-	$\frac{3K(1-2\mu)}{2(1+\mu)}$	-	$\frac{3K(1-\mu)}{1+\mu}$
E, M	-	$\frac{3M - E + \omega}{6}$	$\frac{3M + E - \omega}{6}$	$\frac{E - M + \omega}{4M}$	-
K, M	$\frac{9K(M - K)}{M + 3K}$	-	$\frac{3}{4}(M - K)$	$\frac{3K - M}{M + 3K}$	-
μ, M	$\frac{(1-2\mu)(1+\mu)}{(1-\mu)}M$	$\frac{(1+\mu)}{3(1-\mu)}M$	$\frac{(1-2\mu)}{2(1-\mu)}M$	-	-
μ, G	$2G(1+\mu)$	$\frac{2G(1+\mu)}{3(1-2\mu)}$	-	-	$\frac{2G(1-\mu)}{(1-2\mu)}$

Примітка: $\omega = \sqrt{(M - E)(9M - E)}$

Залежність між дотичними напругами та деформаціями виражена такою формулою:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy} \\ \varepsilon_{yz} &= \frac{1}{G} \tau_{yz} \\ \varepsilon_{zx} &= \frac{1}{G} \tau_{zx} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

де τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} – дотичні компоненти напруг.

Модуль пружності характеризує твердість порід, їхню здатність опиратись зовнішнім впливам і містить у собі такі величини: модуль пружності – $E = 10^3\text{--}3 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона – $\mu = 0,07\text{--}0,47$; модуль зсуву $G = 4 \cdot 10^2\text{--}2 \cdot 10^5$ МПа; модуль всебічного стиску $K = 4 \cdot 10^2\text{--}6 \cdot 10^5$ МПа; межу пружності $G_E = 0\text{--}500$ МПа; коефіцієнт пластичності $k_{pl} = 1\text{--}10$; коефіцієнт крихкості $k_{xr} = 0\text{--}1$; нижню межу пластичності $W_p = 10\text{--}25$ %; верхню межу пластичності $W_L = 40\text{--}90$ %; число пластичності $I_p = W_L - W_p = 15\text{--}80$ %; межу міцності на стиск $\sigma_{sq} = 0\text{--}600$ МПа; межу міцності на розтяг $\sigma_p = 0\text{--}20$ МПа; межу міцності на зсув $\tau_{sd} = 0\text{--}20$ МПа; зчеплення $C = 0\text{--}40$ МПа; кут внутрішнього тертя $\varphi = 0\text{--}85^\circ$; кут природного укусу $\varphi' = 0\text{--}40^\circ$; межу тривалої міцності $\sigma_\infty = (0,9\text{--}0,5) \sigma_{sq}$; межу тривалого модуля пружності $E_\infty = (0,95\text{--}0,6) E_0$ МПа; E_0 – початковий модуль пружності або миттєвого стиску, МПа.

Породи, що мають більші значення модуля пружності, як правило, мають малу зону пластичних деформацій, тобто відбувається крихке руйнування порід. Тому енергія руйнування ψ породи з більшим значенням E часто менше енергії руйнування породи з невеликим значенням E і високою пластичністю.

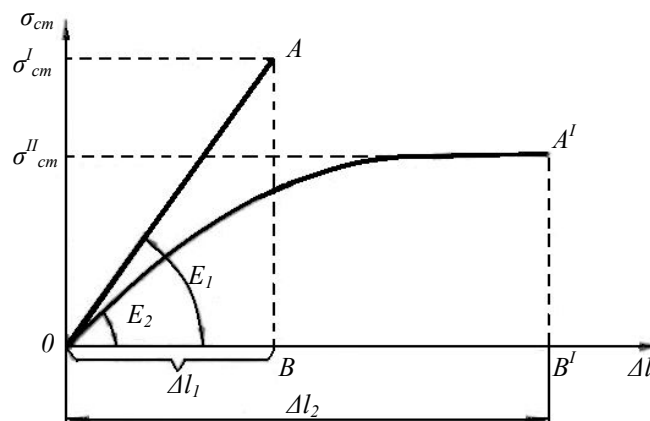


Рис. 2. Питома енергія руйнування породи з великим значенням модуля пружності (OAB) та з великою зоною пластичної деформації (OA¹B¹)

Питома енергія пружної деформації або крихке руйнування (рис. 2) має вигляд:

а) при однобічному стиску:

$$\psi = \frac{1}{2} \sigma \Delta l = \frac{1}{2} E \Delta l^2 = \frac{\sigma^2}{2E}; \quad (10)$$

б) при двосторонньому стиску:

$$\psi^2 = \frac{\sigma_2}{2A} (\sigma_2 - \mu \sigma_1) + \frac{\sigma_1^2}{2E}; \quad (11)$$

в) при триосьовому стиску:

$$\psi^2 = \frac{1}{2A} [(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)], \quad (12)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – нормальні напруги по відповідних осях.

Сланцеві породи належать до анізотропних шаруватих метаморфічних порід, мінеральний склад яких істотно впливає на модуль пружності.

Загальний модуль пружності $E_{перп}$, перпендикулярний шарам, визначається за виразом:

$$\frac{l}{E_{перп}} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{E_i}, \quad (13)$$

де l_i – товщина i -го шару; l – сумарні товщини шарів; E_i – модуль i -го шару.

Деформації всіх шарів при здавлюванні зразка однакові, а напрямки підсумуються по всій площі:

$$E_{пар} = \sum_{i=1}^n E_i V_i, \quad (14)$$

де V_i – обсяг i -го шару.

Таким чином модуль пружності непорушених сланцевих порід паралельно шаруватості більший ніж модуль пружності, що направлений перпендикулярно. Наприклад, піщанистий сланець має такі характеристики: модуль пружності $E_{пар} = 3,03 \cdot 10^4$ МПа; $E_{перп} = 2,42 \cdot 10^4$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\mu_{пар} = 0,15-0,4$; $\mu_{перп} = 0,28-0,34$; межа міцності при стисканні $\sigma_{sпар} = 35-83$ МПа; $\sigma_{sперп} = 55-115$ МПа; глинистий сланець: коефіцієнт Пуассона $\mu_{пар} = 0,22$, $\mu_{перп} = 0,18$, межа міцності при стисканні $\sigma_{sпар} = 14-57$ МПа, $\sigma_{sперп} = 21,5-77$ МПа; сланець піщано-глинистий: межа міцності при стисканні $\sigma_{sпар} = 12,6-13,0$ МПа; $\sigma_{sперп} = 21,5-77$ МПа; межа міцності при розтягу $\sigma_{рпар} = 3,0$ МПа; $\sigma_{рперп} = 1,5$ МПа.

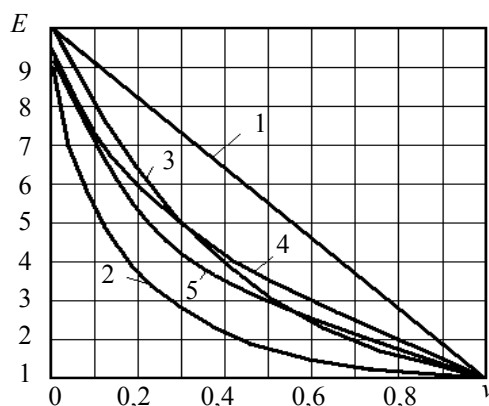


Рис. 3. Теоретичні залежності відносного модуля пружності E гірських порід від об'ємного вмісту мінералу v : 1 – модуль пружності вздовж шаруватості; 2 – модуль пружності перпендикулярно шаруватості; 3 – логарифмічний середньозважений модуль пружності; 4 – середньоарифметичний модуль пружності вздовж і паралельно шаруватості; 5 – середньогометричний модуль пружності вздовж і паралельно шаруватості

Нами встановлено, що коефіцієнт анізотропії для більшості сланцевих порід знаходиться в межах $k_{an} = 1,2-1,9$.

При вирішенні практичних завдань використовують усереднення модулів пружності за формулою:

$$E_{sr} = \frac{1}{2}(E_{par} + E_{perp}). \quad (15)$$

Модуль пружності більшості гірських порід коливається від 10^3 до 10^5 МПа, у металів він зазвичай більший, наприклад, у залізо-магнезійних і рудних мінералів (олівін, гранат, пірит) $E = 2,7 \cdot 10^5$ МПа, у кварциту – $\approx 10^5$ МПа.

На пружні властивості породи особливо впливає її пористість. Залежність модуля пружності породи від пористості n для випадків, якщо $n \leq 10\%$, виражається формулою:

$$E = E_0(1 - A \cdot n)^2, \quad (16)$$

де E_0 – модуль пружності мінерального скелета породи, МПа; n – пористість породи у відсотках або частках одиниці; A – параметр форми порового простору, що враховує вплив конфігурації пор, $A = 0,96-3,2$.

Насичення породи вологою призводить до зменшення модуля пружності, порівняно із сухими. Затиснена вода в порах підвищує модуль пружності, порівняно із сухою пористою породою.

Пружні властивості порід залежать від величини і роду прикладеного навантаження. Зі збільшенням навантаження при розтягу породи модуль пружності зменшується, при стиску – збільшується.

При стиску порода ущільнюється, збільшується площа контактів зерен і, відповідно, збільшується міцність, зростає модуль пружності.

Загальний вигляд залежності модуля пружності від тиску має вигляд:

$$\frac{E_1}{E_2} = 1 + \hat{E} \cdot \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}, \quad (17)$$

де E_1 і E_2 – модулі пружності відповідно при напругах σ_1 і σ_2 ; k – емпіричний коефіцієнт (для пісків $k = 2,2$). Модуль пружності E_{cm} , що визначається при стиску, зазвичай в 1,5–4 рази більше модуля пружності E_p , визначеного при розтягу.

Модулі пружності, що визначаються при статичних навантаженнях E_{st} , зазвичай менше модуля E_d , що визначається при динамічному впливі на породу, тобто $E_{st} < (0,3-0,35) E_d$.

Модуль пружності порід, що перебувають в умовах всебічного стиску, є значно вищим, наприклад, при тисках до 100 МПа статичний модуль збільшується в 3 рази, а динамічний модуль E_d збільшується лише на 50–60 %.

Зі збільшенням температури нагрівання до 600 °С модуль пружності зменшується в 2–3 рази, а при подальшому зростанні температур модуль пружності залишається постійним.

Глибоке охолодження (до -196°) сухих щільних порід призводить до збільшення їхнього модуля пружності.

Якщо до ділянки породи обмежених розмірів миттєво прикласти навантаження (удар), що не перевищує межу пружності, то ця ділянка буде зазнавати деформації, тобто зсуву часток за напрямком діючої сили. Тоді відбувається поширення пружної деформації з певною швидкістю. При цьому в тілі породи будуть поширюватися плоска поздовжня і поперечна пружна хвилі. Частота цих коливань може різнитись, залежно від частоти збуджуючих сил.

За частотою коливань пружні хвилі поділяють на інфразвукові – частота коливань до 20 Гц, звукові – 20–20000 Гц; ультразвукові – більше 20000 Гц, гіперзвукові – більше 10^{10} Гц.

Якщо напруги не перевищують межу міцності (тобто виконується закон Гука), то ця хвиля є пружною. Хвилі низької частоти, швидко загасаючі, характерні сейсмічним хвилям.

Пружні хвилі виникають у результаті поширення деформацій у породах. Залежно від виду деформацій можуть виникати хвилі різних типів (рис. 4): поздовжні (*a*), поперечні (*b*) і згинаючі (*в*). Поздовжні пружні хвилі викликають звукові явища. Поперечні хвилі характерні тільки для твердих тіл, а в рідинах і газах відсутні. Згинаючі або крутильні хвилі виникають у стрижнях.

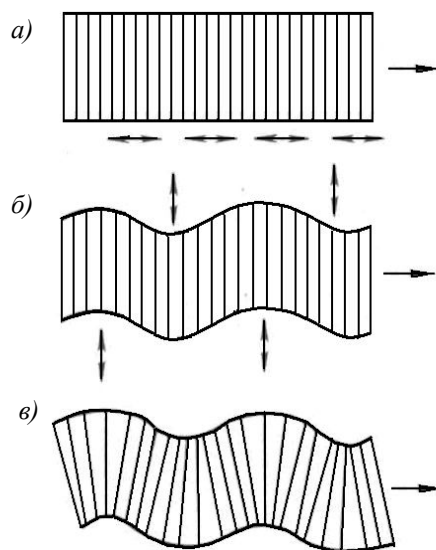


Рис. 4. Пружні хвилі різних типів: а – поздовжні; б – поперечні; в – згинальні

Характер поширення пружних хвиль супроводжується пружними коливаннями в гірських породах і визначається акустичними параметрами порід, такими як швидкість поширення пружних хвиль, коефіцієнти поглинання, відбиття та переломлення, а також хвильовий опір. Ці параметри визначаються з виразів:

а) швидкість поздовжньої пружної хвилі в масиві g :

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\gamma} g \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}}; \quad (18)$$

б) швидкість поперечної пружної хвилі:

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\gamma} g \frac{1}{2(1+\mu)}}; \quad (19)$$

в) коефіцієнт поглинання поздовжньої пружної хвилі θ_p , що залежить від частоти коливань f квадратичної:

$$\theta_p = \frac{8\pi^2 f^2}{3V^3 \delta} \eta, \quad (20)$$

де η – коефіцієнт в'язкості; γ – питома (об'ємна вага) породи, $\gamma = 13\text{--}16 \text{ кН/м}^3$; δ – товщина породи; g – прискорення сили тяжіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$); V – швидкість пружної хвилі; μ – коефіцієнт Пуассона.

Хвильовий опір порід визначає їхню здатність відбивати та переломлювати пружні хвилі. Відбиття та переломлення відбувається або на границі між породами з різними акустичними параметрами, або на переході пружних хвиль із зовнішнього середовища в породу і навпаки. Так при переході пружних коливань із повітря у воду відбивається 99,8 % їхньої енергії, а при переході з води в породу – близько 85 %.

Сланцеві породи мають такі характеристики: питома вага частки $\gamma_s = 25,1\text{--}27,2 \text{ кН/м}^3$; швидкість пружної хвилі $V_p = 2250 \text{ м/с}$; питомий хвильовий опір $z_{vs} = 5,65\text{--}6,15 \text{ МПа}\cdot\text{с}$; коефіцієнт загасання пружних хвиль $k_{zat} = 0,085\text{--}0,088$, швидкість звуку у висушених сланцевих породах складає $C_v = 2700\text{--}3000 \text{ м/с}$, акустична жорсткість $C_v \cdot \rho = (7\text{--}9) \cdot 10^3 \text{ Н/с}\cdot\text{см}^2$.

Максимальна швидкість пружних хвиль для води з $\gamma = 10 \text{ кН/м}^3$ – $V_p = 1485 \text{ м/с}$, коефіцієнт поглинання при $f = 10^5 \text{ Гц}$; $\theta_p = 8,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/м}$ при $f = 10^7 \text{ Гц}$; $\theta_p = 8,5 \cdot 10^{-1} \text{ 1/м}$; максимальна швидкість пружних хвиль для повітря з $\gamma = 0,00129 \text{ кН/м}^3$ складає $V_p = 331 \text{ м/с}$; коефіцієнт поглинання при $f = 10^5 \text{ Гц}$; $\theta_p = 1,24 \cdot 10^{-1} \text{ 1/м}$ при $f = 10^7 \text{ Гц}$; $\theta_p = 1,24 \cdot 10^3 \text{ 1/м}$.

Ці дані можна використовувати для практичних розрахунків сланцевих порід у водонасиченому стані, а також у випадку, коли пори заповнені повітрям. Через те, що швидкість звуку у воді майже в 5 разів більша ніж у повітрі, насичення скельних порід, у тому числі і сланцевих, водою призводить до відносного збільшення швидкості поздовжніх хвиль.

З підвищенням температури швидкість пружних поздовжніх хвиль зменшується, а коефіцієнт поглинання збільшується. Швидкість звуку в льоді становить близько 3300 м/с, що у два і більше рази більше, ніж у воді. У мерзлих ґрунтах відбувається різке збільшення швидкостей поперечних хвиль.

Висновки:

1. Встановлено, що для того, щоб розрахувати всі пружні параметри сланцевих гірських порід, які використовуються у розрахунках того чи іншого напружено-деформованого стану, достатньо знати лише два пружні параметри, отримані при випробуваннях у лабораторних умовах.

2. Сланцеві гірські породи належать до анізотропно-шаруватих порід, пружні характеристики яких, залежно від місця прикладання діючого навантаження відносно шарів, мають різні значення.

3. Характер розповсюдження повздовжніх та поперечних пружних хвиль при динамічних та сейсмічних впливах у середовищі сланцевих гірських порід залежить від їх пружних характеристик по шарам.

Список використаної літератури:

1. Барон Л.И. Определение свойств горных пород / Л.И. Барон, Б.М. Логунцов, Е.З. Позин. – М. : Госгортехиздат, 1962. – 332 с.
2. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М. : Недра, 1973. – 288 с.
3. Окислительно-восстановительные процессы как источник нарушения минерального равновесия в сланцевых породах / М.Худек, А.М. Самедов, В.Г. Кравец и др. // Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika-Geotechnics 2006, Materiały Naukowe Gliwice – Ustron 17–20 października 2006 r. – Pp. 51–58.
4. Технические характеристики некоторых сланцевых горных пород / А.М. Самедов, Д.Чирагов, А.Новиковская и др. // Вісник НУТУ «КПІ»; серія «Гірництво». – К., 2007. – Вип. 15. – С. 80–85.
5. Худек М. Инженерные характеристики некоторых сланцевых горных пород / М.Худек, А.М. Самедов, А.Новиковская // Miedzynarodowa Konferencja VIII Szkoła Geomechaniki 2007. Gliwice – Ustron (Польша). 16–19 Października 2007 r. – Pp. 146–153.
6. Жданова О.О. Влияние сланцевых пород на нарушение экологической равновесия навоколишнього середовища / О.О. Жданова, Ю.П. Шеліховська, А.М. Самедов // тези V Міжнар. наук. конф. студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнологій» 19–22 березня 2008 року, м. Житомир. – 2008. – С. 112–113.
7. Жданова О.О. Саморуйнування сланцевих гірських порід / О.О. Жданова, А.М. Самедов // Вісник ЖДТУ. – 2008. – № 2 (45). – С. 147–149.
8. Самедов А.М. Расчет на устойчивость борта карьера, сложенного сланцевыми горными породами / А.М. Самедов, Е.А. Жданова // XIII Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika-Geotechnics 2008 (Materiały Naukowe) Gliwice-Ustron 14–17 października 2008 r. – Pp. 59–69.

ЖДАНОВА Олена Олександрівна – аспірант Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- підземне будівництво;
- механіка ґрунтів;
- геоecologia.

E-mail: y_zhdanova@ukr.net

САМЕДОВ Ахмед Меджид огли – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- підземне будівництво;
- механіка ґрунтів;
- підвалини та фундаменти.

Стаття надійшла до редакції 23.01.2012

Жданова О.О., Самедов А.М. Пружні характеристики сланцевих гірських порід
Жданова О.О., Самедов А.М. Упругие характеристики сланцевых горных пород
Zhdanova O.O., Samedov A.M. Elastic characteristics of slate rocks

УДК 631.43:691.24

Упругие характеристики сланцевых горных пород / О.О. Жданова, А.М. Самедов

Рассмотрена взаимосвязь упругих характеристик сланцевых горных пород, которые широко используются при расчете, конструировании и изготовлении подземных сооружений.

УДК 631.43:691.24

Elastic characteristics of slate rocks / O.O. Zhdanova, A.M. Samedov

The correlation of elastic characteristics of slate rocks which are widely used at calculations, design and manufacturing of underground constructions is considered.