

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ СЛАНЦЕВЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

А. М. Самедов, докт. техн. наук (НТУУ «КПИ»), Д. Чирагов, канд. техн. наук (университет Юзул, г. Ван (Турецкая Республика), А. Новаковска, магистр (ПР), Н. Н. Иванова, магистр (НТУУ «КПИ»)

Виготовлені та випробувані у лабораторних умовах серії зразків для визначення технічних характеристик сланцевих гірських порід. Отримані дані про фізико-механічні, міцнісні, теплофізичні, пружні, шарувато-анізотропні, гідравлічні та хвильові властивості цих порід.

В литературных источниках [1–4] недостаточно исследованы технические характеристики сланцевых горных пород, необходимые при расчете и проектировании инженерных сооружений из этих материалов.

В лабораторных условиях были исследованы образцы 12 видов сланцевых горных пород для определения физико-механических (табл. 1), прочностных (табл. 2) и теплофизических (табл. 3) свойств. Методика исследований физических показателей (удельного веса частицы γ_s , кН/м³; объемно-насыпного веса щебней из этих пород γ_H , кН/м³; удельного веса (объемного) в кусках γ_d , кН/м³; пористости n , %; коэффициента пористости e_0) соответствовала требованиям нормативных документов применительно к грунтам и горным породам. Механические свойства (угол внутреннего трения φ , град и силы сцепления C , МПа) определялись в лабораторных условиях с помощью срезного прибора и стабилометра (см. табл. 1).

Из монолитных сланцевых горных пород были вырезаны кубы с длиной ребра 50 мм, балочки размерами 40×40×160 мм, призмы 40×40×80 мм, восьмерки для испытания на растяжение 52×78 мм толщиной 22,5 мм при длине 26 мм и вырезкой диаметром 10 мм и глубиной 3 мм. Эти образцы были испытаны в лабораторных условиях на испытательных машинах и прессах. Были получены результаты из пяти образцов-близнецов (см. табл. 2).

Таблица 1. Физико-механические свойства сланцевых горных пород

Порода	Удельный вес частицы (без пор) γ_s , кН/м ³	Удельный вес щебней γ_H , кН/м ³	Удельный вес в кусках γ_d , кН/м ³	Пористость породы в кусках n , %	Угол внутреннего трения φ , град	Сила сцепления C , МПа
Карбонатно-глинистые сланцы	27,0...29,0	14,2...5,6	17,6...19,4	22...26	26,2...28,5	24...28

Песчано-глинистые сланцы	25,9...27,2	13,8...5,2	16,8...18,4	21...25	26,5...27,6	23...26
Сланцевые песчаники	26,4...27,8	13,8...5,2	16,4...18,0	20...22	28...31	24...26
Алевролитовые сланцы	29,5...30,0	15,7...6,8	18,6...20,4	16...18	32...33	28...30
Аргиллитовые сланцы	28,6...29,4	14,1...5,4	18,2...20,0	17...19	28...30	26...28

Таблица 2. Прочностные свойства сланцевых горных пород

Порода	Коэффициент Пуассона μ	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Предел прочности на растяжение $\sigma_{раст}$, МПа	Предел прочности на сдвиг τ , МПа	Коэффициент крепости f (по 20-балльной шкале)
Карбонатно-глинистые сланцы	0,23...0,25	55...67	4,1...7,2	7,6...9,6	4,8...5,2
Песчано-глинистые сланцы	0,23...0,25	25...40	3,0...3,6	4,8...5,8	3,2...3,8
Сланцевые песчаники	0,25...0,35	80...86	8,0...8,6	11...13,1	4,9...5,1
Алевролитовые сланцы	0,22...0,25	81...88	8,1...9,3	12,0...16,0	5,0...5,2
Аргиллитовые сланцы	0,25...0,30	56...83	5,2...8,4	7,2...15,4	4,0...5,0

В инженерной практике часто требуются теплофизические показатели природных каменных материалов. Для получения этих данных вырезали образцы в форме круга диаметром 250 мм, толщиной 30 мм. Толщину образцов (9 образцов каждого вида сланцевых горных пород) измеряли с точностью до 0,1 мм, перед испытанием высушивали до постоянного веса при температуре 105 °С. Испытания образцов для определения коэффициента теплопроводности проводили на специальном приборе путем измерения стационарного потока тепла, проходящего через образец с помощью малоинерционного тепломера. Испытания проводились в большом диапазоне температур (от 20 до 700 °С, через 100 °С). Коэффициент теплопроводности λ вычисляли с точностью до 0,001 ккал/(м·ч·°С), где 1 ккал/(м·ч·°С) = 1,163 Вт/(м·°С) (см. табл. 3).

Теплоемкость c , Дж/(кг·°С) и теплопроводность α_T , м²/ч, сланцевых пород зависят от минеральных составов и плотности породы. С уменьшением плотности наблюдается повышение удельной теплоемкости. Температуропроводность α_T зависит от коэффициента теплопроводности λ , теплоемкости c и плотности ρ сланцевых пород. С повышением температуры теплоемкость увеличивается, температуропроводность уменьшается (см. табл. 3).

Коэффициенты линейного и объемного теплового расширения сланцевых горных пород зависят от модулей упругости и минеральных составов (см. табл. 3).

Таблица 3. Теплофизические свойства сланцевых горных пород в сухом состоянии

Порода	Температуропроводность, $\alpha_T \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{ч}$	Теплопроводность λ , Вт/(м · °С)	Удельная теплоемкость $c \cdot 10^3$, Дж/(кг · °С)	Коэффициент линейного расширения $\beta \cdot 10^{-5}$, 1/°С
Карбонатно-глинистые сланцы	0,62...0,96	1,48...2,24	0,78...0,86	0,91...1,20
Песчано-глинистые сланцы		1,52...1,96	0,73...0,79	0,91...1,14
Сланцевые песчаники	1,66...2,78	1,76...2,26	0,71...0,78	0,98...1,20
Алевролитовые сланцы	0,98...1,2	1,46...1,94	0,74...0,80	0,96...1,16
Аргиллитовые сланцы	0,98...1,46	1,54...1,96	0,76...0,84	0,96...1,18

Примечание. Сланцевые горные породы обладают слоистой анизотропией; коэффициент анизотропии по теплопроводности: $K_{ан} = \lambda_{II} / \lambda_I = 1,06...1,25$.

В табл. 3 данные теплопроводности для сланцевых горных пород приведены по λ_I . При необходимости определения λ_{II} для сланцев, имеющих в составе глины, следует принимать $K_{ан} = 1,12$, для песчанистых сланцев $K_{ан} = 1,2$.

При расчете и проектировании конструкций из сланцевых горных пород требуется знать величины статических и динамических упругих параметров. Они приведены в табл. 4.

Сланцевые горные породы состоят из минералов, которые в результате метаморфизма залегают в слоистом анизотропном виде. Слоистая анизотропия проявляется при испытании образцов-близнецов.

Таблица 4. Статические и динамические упругие свойства сланцевых горных пород

Порода	Модуль упругости $E \cdot 10^4$, МПа		Модуль сдвига $G \cdot 10^4$, МПа		Модуль всестороннего сжатия $K \cdot 10^4$, МПа	
	статический $E_{ст}$	динамический $E_{дин}$	статический $G_{ст}$	динамический $G_{дин}$	статический $K_{ст}$	динамический $K_{дин}$
Карбонатно-глинистые	2,46...2,9	3,26...3,76	1,25...1,65	1,52...2,44	1,52...1,80	3,28...3,66

сланцы						
Песчано-глинистые сланцы	1,74...2,2	2,36-2,84	1,14...1,48	1,58...1,92	1,26...1,58	2,56...3,26
Сланцевые песчаники	2,52...2,98	3,36...0,88	1,31...1,66	1,66...1,98	1,28...1,92	2,66...3,98
Алевролитовые сланцы	2,48...2,62	3,24...3,52	1,32...1,48	1,78...1,98	1,41...1,54	2,86...3,25
Аргеллитовые сланцы	2,44...2,92	3,09...3,88	1,34...1,88	1,62...2,30	1,26...1,96	2,48...3,85

Анизотропные механические свойства сланцевых горных пород приведены в табл. 5.

Таблица 5. Анизотропные механические свойства сланцевых горных пород

Порода	Модуль упругости $E \cdot 10^4$, МПа		Коэффициент Пуассона μ		Предел прочности на сжатие, МПа		Предел прочности на растяжение, МПа	
	E_{II}	E_I	μ_{II}	μ_I	$\sigma_{сжII}$	$\sigma_{сжI}$	$\sigma_{растII}$	$\sigma_{растI}$
Карбонатно-глинистые сланцы	2,79... 2,86	2,28... 2,40	0,23...0,25	0,24... 0,28	52...68	66...82	9,8...10,2	10,4... 12,2
Песчано-глинистые сланцы	1,98... 2,12	1,66... 1,72	0,22...0,25	0,25... 0,28	25...38	32...55	3...3,6	3,4... 5,2
Сланцевые песчаники	2,88... 2,96	2,28... 2,32	0,20...0,26	0,22... 0,28	77...95	68...120	10,4...11,2	11,6... 14,8
Алевролитовые сланцы	2,56... 2,62	2,38... 2,45	0,20...0,23	0,23... 0,25	80...86	81...115	8,0...8,8	8,4... 10,8
Аргиллитовые сланцы	2,86... 2,92	2,38... 2,43	0,20...0,24	0,22... 0,30	54...86	55...96	10,2...11,4	11,2... 14,6

Примечание. Предел длительного модуля упругости $E_{\infty} \approx (0,6...0,95)E_0$, МПа, где E_0 – начальный модуль упругости.

Для решения практических задач используют усредненную величину модуля упругости.

Гидравлические свойства сланцевых горных пород зависят от минералогического состава, плотности упаковки и пористости или трещиноватости (табл. 6).

Таблица 6. Гидравлические свойства сланцевых горных пород

Порода	Водопоглощение по объему w_o ,	Коэффициент размокаемости $K_{разм}$	Водоотдача при высушивании,	Коэффициент фильтрации в трещиноватых породах K_f , м/сутки
--------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------	---

	%		%	
Карбонатно-глинистые сланцы	20...24	0,84...0,94	2...5	2...7 4...8
Песчано-глинистые сланцы	20...25	0,82...0,88	3...8	2...6
Сланцевые песчаники	18...20	0,86...0,92	4...10	3...6
Алевролитовые сланцы	15...18	0,84...0,92	4...10	3...9
Аргиллитовые сланцы	16...18	0,84...0,92	4...11	3...8

При динамических расчетах поведения массива из сланцевых пород, а также конструкций сооружений изготовленных из щебней сланцевых горных пород необходимо знать распространение упругих волн, поглощения и затухания продольных и поперечных волн в этих материалах. Эти параметры приведены в табл. 7.

Таблица 7. Распространение упругих волн в сланцевых горных породах

Порода	Удельное волновое сопротивление для продольных волн, $z \cdot 10^{-4}$, МПа·с	Скорость волны, м/с		Коэффициент затухания ψ , 1/с	
		продольной $V_{пр}$, м/с	поперечной $V_{поп}$, м/с	продольной $\psi_{пр}$ 1/с	поперечной $\psi_{поп}$ 1/с
Карбонатно-глинистые сланцы	58...66	3460...3510	1560...1640	0,14...0,16	0,24...0,28
Песчано-глинистые сланцы	48...61	2440...2560	1420...1540	0,22...0,30	0,76...0,86
Сланцевые песчаники	65...82	3590...3620	1720...1860	0,24...0,32	0,98...1,06
Алевролитовые сланцы	40...46	3610...3660	1910...1930	0,26...0,30	1,08...1,16
Аргиллитовые сланцы	42...54	3480...3680	1820...1870	0,19...0,26	0,88...0,98

Выводы

1. Изготовлены серии образцов из сланцевых горных пород и испытаны в лабораторных условиях для определения технических характеристик, которые необходимы при расчете и проектировании сооружений из этих материалов.
2. Получены данные, характеризующие физико-механические, прочностные, теплофизические, упругие, слоисто-анизотропные, гидравлические и волновые свойства сланцевых горных пород.

1. *Ржевский В. В., Новик Г. Я.* Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1973. – 285 с.
2. *Барон Л. И., Логунцов Б. М., Позин Е. З.* Определение свойств горных пород. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 160 с.
3. *Самедов Р. А.* Активизация инертных минералов отвальной породы химическими реагентами // Вісник Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2001. – Вип. 6. – С. 69–75.
4. *Новаковска А.* Консолидационное уплотнение трехфазного массива малопрочных сланцевых пород // Вісник Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут”. Серія „Гірництво”: Зб. наук. праць. – К.: НТУУ „КПІ”. – 2006. – Вип. 13. – С. 33–39.