

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Т., Виноградов В.В. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления. - М.: Недра, 1982. - 192 с.
2. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. - М.: Недра, 1975. - 271 с.
3. Паспорта прочности горных пород и методы их определения / М.М. Протодяконов, М.И. Койфман, С.Е. Чирков, М.Ф. Кунтыш, Р.И. Тедер. - М.: Наука, 1964. - 80 с.
4. Джегер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения. - М.: Мир, 1975. - 256 с.
5. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. - М.: Недра, 1979. - 301 с.
6. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. - М.: Недра, 1979. - 269 с.
7. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. - М.: Углетехиздат, 1947. - 179 с.
8. Мюллер Л. Инженерная геология. Механика скальных массивов. - М.: Мир, 1971. - 255 с.
9. Тедер Р.И., Кунтыш М.Ф. Паспорта прочности горных пород и методы их построения / В кн.: Свойства горных пород и методы их определения. Под ред. М.М. Протодяконова. - М.: Недра, 1969. - С. 164-177.
10. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. - Киев: Наукова думка, 1982. - 200 с.
11. Результаты изучения прочностных и деформационных свойств горных пород Западного Донбасса / В.Т. Глушко и др. - Киев: Наукова думка, 1969. - 44 с.

УДК 622.023

В.Ю. Куклин, Н.Т. Бобро

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Виконана оцінка реологічної здатності гірських порід. Наведені кореляційні залежності для наближеної оцінки одних параметрів через інші.

APPROXIMATE VALUATION OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE ROCK

Valuation of the rheological properties of the rock are carried out. Correlation dependences for approximate valuation each parameters over other are received.

Приведены результаты определения реологических параметров по двум геолого-промышленным районам. Выполнена оценка реологических характеристик углевмещающих горных пород этих районов. Приведены корреляционные зависимости для приближенной оценки реологических свойств горных пород по результатам менее трудоемких испытаний.

В отделе механики горных пород ИГТМ НАН Украины реологическим испытаниям подвергнуто более 130 проб горных пород, которые отобраны из шахт и скважин разведочного бурения Новомосковского и Павлоградско-Петропавловского геологопромышленных районов. Углевмещающие породы этих районов представлены, в основном, литологическими разностями: аргиллитами, алевролитами, песчаниками.

Испытания пород и обработка результатов испытаний осуществлялись по методике, изложенной в [1], в которой предусматривается проведение основных и вспомогательных опытов. По данным вспомогательных опытов оценивается способность пород к развитию деформаций ползучести. По результатам основных опытов устанавливается закон деформирования пород во времени и определяются реологические параметры. Экспериментальные кривые ползучести обработаны с помощью уравнения наследственного типа [1]

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \left[1 + \frac{\chi}{\beta - \chi} (1 - \exp(-0,7(\beta - \chi)t^{0,3})) \right],$$

где $\varepsilon(t)$ – относительная средняя деформация; ε_0 – условно-мгновенная деформация.

Определены значения параметров ползучести χ и β и реологического показателя χ/β , который характеризует степень ползучести пород.

Величина реологического показателя χ/β пропорциональна отношению деформаций ползучести к условно-мгновенным $\varepsilon_{п}/\varepsilon_0$, и поэтому может служить количественной характеристикой степени ползучести испытанных горных пород. Степень ползучести пород оценивается по расширенной классификации горных пород [1].

В табл. 1 представлены интервалы изменения (в числителе) и средние значения (в знаменателе) предела прочности на сжатие и реологических параметров по каждой литологической разности для указанных районов.

Таблица 1 - Реологические параметры горных пород

Геолого-промышленный район Донбасса	Литологическая разность	Кол-во проб	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, МПа	Параметры ползучести		
				χ , ч ^{-0,3}	β , ч ^{-0,3}	χ/β
Новомосковский	аргиллит	44	$\frac{5-26}{12}$	$\frac{0,001-0,710}{0,111}$	$\frac{0,004-2,676}{0,458}$	$\frac{0,150-0,550}{0,284}$
	алевролит	13	$\frac{8-12}{10}$	$\frac{0,001-0,739}{0,144}$	$\frac{0,004-2,735}{0,573}$	$\frac{0,223-0,479}{0,300}$
	песчаник	5	$\frac{4-48}{20}$	$\frac{0,022-0,081}{0,050}$	$\frac{0,130-0,265}{0,212}$	$\frac{0,165-0,306}{0,226}$
Павлоградско-Петропавловский	аргиллит	22	$\frac{22-50}{32}$	$\frac{0,015-0,463}{0,095}$	$\frac{0,038-2,386}{0,349}$	$\frac{0,122-0,515}{0,306}$
	алевролит	39	$\frac{17-45}{34}$	$\frac{0,001-1,855}{0,094}$	$\frac{0,004-5,853}{0,539}$	$\frac{0,105-0,564}{0,279}$
	песчаник	11	$\frac{34-57}{47}$	$\frac{0,002-0,172}{0,033}$	$\frac{0,023-0,414}{0,181}$	$\frac{0,087-0,415}{0,175}$

Выполнен анализ результатов реологических испытаний горных пород. Реологический показатель χ/β для пород Западного Донбасса изменяется в широком диапазоне от 0,08 до 0,6. Соответственно степень ползучести изменяется от весьма слабой до весьма сильной. Наблюдается уменьшение величины реологического показателя с увеличением прочности пород. Степень ползучести испытанных песчаников - весьма слабая, а аргиллитов - средняя.

С целью приближенной оценки реологических свойств горных пород проведена корреляционная обработка данных испытаний 134 керновых проб

углевмещающих пород Новомосковского и Павлоградско-Петропавловского районов.

Задачей корреляционного анализа является отыскание такого корреляционного уравнения (уравнения регрессии), которое наилучшим образом соответствует характеру изучаемой связи [2-4].

В нашем случае целью корреляционного анализа является выявление парной корреляционной связи между $\sigma_{сж}$, $E_{ст}$, χ/β , V_p для аргиллитов, алевролитов и песчаников.

В табл. 2 представлены уравнения парной корреляционной связи, значения коэффициентов корреляции, их доверительные интервалы.

Коэффициенты корреляции для показателей $\sigma_{сж}$ и $E_{ст}$, $\sigma_{сж}$ и V_p , $E_{ст}$ и V_p по данным лабораторных испытаний положительные. Для показателей $\sigma_{сж}$ и χ/β , $E_{ст}$ и χ/β , χ/β и V_p коэффициенты корреляции отрицательные, что свидетельствует о соответствии выявленных закономерностей их физической сущности. Большинство зависимостей описываются линейными уравнениями вида $y=ax+b$ или уравнениями приводящимися к этому виду. В табл. 2 приведены граничные условия для уравнений регрессии. Анализ результатов парной корреляции позволил установить, что достаточно сильная связь наблюдается между $\sigma_{сж}$ и V_p ($r=0,84$), между реологическим показателем χ/β и V_p ($r=-0,74$), слабая связь между $E_{ст}$ и χ/β ($r=-0,35$).

Анализ корреляционных зависимостей между пределом прочности пород, их реологическими показателями и скоростями упругих волн, полученных по данным лабораторных испытаний и данным акустического каротажа, показывает различный вид уравнений регрессии. Как видно из табл. 2 значения параметров, характеризующих тесноту связи исследуемых величин, полученных в лабораторных условиях, выше, что означает большую точность этих зависимостей.

Таким образом, при отсутствии данных прочностных испытаний реологическая способность пород с меньшей степенью надежности может быть оценена по скорости продольной волны, полученной в лабораторных условиях, либо при акустическом каротаже скважин.

Таблица 2 - Результаты парной корреляционной обработки

Признаки	№	Уравнения регрессии	r	η	Доверительный интервал r	Граничные условия для уравнения
Лабораторные данные						
$\sigma_{сж}$ и $E_{ст}$	33	$\sigma_{сж}=0,18E_{ст}+37,6$	0,67	0,83	0,42 - 0,82	$120 < E_{ст} \cdot 10^{-2} < 640$
$\sigma_{сж}$ и χ/β	44	$\chi/\beta=19,24/\sigma_{сж}-0,03$	-0,65	0,8	-0,75 - 0,3	$30 < \sigma_{сж} < 155$
$\sigma_{сж}$ и V_p	45	$\sigma_{сж}=1/(0,029-0,4 \cdot 10^{-5}V_p)$	-0,84	0,9	-0,72 - 0,91	$2020 < V_p < 5500$
$E_{ст}$ и χ/β	33	$E_{ст}=202,7+18,7/(\chi/\beta)$	-0,35	0,4	-0,62 - 0,01	$0,08 < \chi/\beta < 0,49$
$E_{ст}$ и V_p	33	$E_{ст}=0,109V_p-112,7$	0,63	0,74	0,37 - 0,80	$2600 < V_p < 5500$
χ/β и V_p	34	$\chi/\beta=1694,5/V_p-0,213$	-0,74	0,85	-0,86 - -0,54	$2600 < V_p < 5500$
Акустический каротаж						
$\sigma_{сж}$ и $E_{ст}$	43	$\sigma_{сж}=0,16E_{ст}+38$	0,55	0,76	0,30 - 0,73	$120 < E_{ст} \cdot 10^{-2} < 640$
$\sigma_{сж}$ и χ/β	44	$\sigma_{сж}=112,4-104,5\chi/\beta$	-0,42	0,64	-0,64 - 0,14	$0,01 < \chi/\beta < 0,55$
$\sigma_{сж}$ и V_p^*	62	$\sigma_{сж}=0,047V_p^*-113,6$	0,65	0,8	0,48 - 0,77	$3400 < V_p^* < 5400$
$E_{ст}$ и χ/β	44	$E_{ст}=178,3+21,68/(\chi/\beta)$	-0,43	0,6	-0,65 - -0,16	$0,07 < \chi/\beta < 0,55$
$E_{ст}$ и V_p^*	44	$E_{ст}=0,15V_p^*-328,4$	0,52	0,68	0,26 - 0,71	$3500 < V_p^* < 5200$
χ/β и V_p^*	45	$\chi/\beta=0,70-0,0001V_p^*$	-0,35	0,55	-0,58 - 0,06	$3500 < V_p^* < 5500$

Примечание: $E_{ст}$, [МПа]; $\sigma_{сж}$, [МПа]; V_p , [м/с]; V_p^* , [м/с]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. - К.: Наук. думка, 1979. - 136 с.
2. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. - М.: Физматгиз, 1962. - 200 с.
3. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. - М.: Мир, 1969. - 450 с.
4. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая школа, 1982. - 224 с.