

УДК 622.235.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ПЛАСТА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ ЭСТОНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ю. М. Мисник, Э. Я. Рейнсалу

Породы пласта горючих сланцев Прибалтийского бассейна, частью которого является и Эстонское месторождение, характеризуются тремя особенностями, усложняющими как определение физико-механических свойств пород, так и исследование процесса разрушения массива действием взрыва: 1) горючий сланец не является изотропным телом, а относится к мелкослоистым средам; 2) высокое содержание глины и пористость как горючего сланца, так и некоторых прослоек известняка придают им высокую пластичность; 3) наличие в пачках сланца влаги и включений известняка заставляет рассматривать горючий сланец как многокомпонентную среду (см. рисунок).

Результаты определения физико-механических свойств пород пласта Прибалтийского бассейна [Селезнев, Шарков, 1959; Аллик, 1964; Бакинов, Безкаравайный, 1964] в основном сводились к определению временного сопротивления на сжатие. Упругие постоянные пород пласта шахты № 3 комбината «Сланцы» определены электроакустическим методом кафедрой буровзрывных работ Ленинградского горного института.

Таблица 1

Некоторые физико-механические свойства пород пласта

Индекс	Модуль упругости, 10^9 н/м ²			Коэффициент Пуассона			Временное сопротивление сжатию, 10^6 н/м ²		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>E/D</i>	—	13	—	—	0,27	—	—	39	—
<i>D/C</i>	32,4	16	—	0,28	0,30	—	55	64	63,7
<i>C</i>	4,1	—	0,9 . . . , 1,1	0,34	—	—	21	9,8 . . . , 13	22,1
<i>B</i>	3,8	1,7	0,7 . . . , 0,8	0,34	0,30	—	20	18	25,5
<i>B/A'</i>	32,4	—	—	0,28	—	—	52	—	62,8

Примечания. I — по определению кафедры буровзрывных работ Ленинградского горного института электроакустическим методом для условий шахты № 3 комбината «Сланцы». По данным механических испытаний пород пласта: II — шахты № 2 треста «Эстонсланец» [Селезнев, Жарков, 1959]; III — шахты № 3 комбината «Сланцы» [Бакинов, Безкаравайный, 1964].

Как видно из табл. 1, модули упругости и другие характеристики, определенные электронно-акустическим методом и механическими испытаниями, существенно различны. Эти расхождения являются следствием различной влажности образцов, наличия или отсутствия прослоек известняка, различных мест отбора проб и главным образом различных методик исследования. Так, при электронно-акустическом методе образцы нагружаются циклично с большой скоростью и напряжением ниже предела упругости, а при механических испытаниях нагрузка осуществляется медленно (статически) до напряжений, превышающих предел упругости. Ввиду пластичности в образцах развиваются необратимые деформации, которые в первый период нагружения могут возрастать более или менее линейно. В таких квазиупругих средах модуль упругости окажется значительно меньше действительного (динамического).

Существенное значение имеет и влажность испытуемых образцов. По данным Г. П. Бакинова и В. Г. Безкаравайного [1964], уменьшение влажности сланцев Ленинградского месторождения на 4—5% против естественной (7—10%) увеличивает прочность их на 10—15%, повышение влажности до 16—18% снижает прочность на 30—35%. Предел прочности на сжатие увеличивается при наличии в образцах прослоек известняка. Изменение влажности, по-видимому, влияет и на упругие постоянные сланца.

Как известно из практики, свойства пород пласта горючих сланцев изменяются в зависимости от глубины залегания и геологических нарушений [Аллик, 1960; 1964].

Таким образом, в настоящее время физико-механические свойства пород пласта горючих сланцев определены только для частных случаев и по разным методикам, что делает невозможным их сопоставление. Для исследования процесса взрывной отбойки необходимо определить упругие постоянные пород пласта горючих сланцев электронно-акустическим методом и в условиях Эстонского месторождения.

Горючий сланец является анизотропной средой, которая аналогично кристаллу гексагональной симметрии, характеризуется пятью упругими

ИНДЕКС	Разрез	Высота от поверхн. А, м	Мощность пачки, м
F ₂ F ₁		3,21	0,14
F ₁ /F		3,08	0,13
F		2,22	0,85
E		1,85	0,37
E/D		1,77	0,08
D		1,69	0,08
D/C		1,46	0,23
C		1,07	0,39
C/B		1,02	0,05
B		0,42	0,80
B/A'		0,22	0,20
A'		0,0	0,22
A		0,0	0,22

Структурный разрез пласта горючих сланцев на шахте № 10 треста «Эстонсланец»:

А, А', В, С, D, E, F — пачки горючего сланца; В/А', С/В, D/С, E/D, F₁/F — прослойки известняка; F₁, F₂ — глинистый сланец.

постоянными [Безухов, 1961]. Четыре из них можно найти определением скорости распространения продольных и поперечных волн вдоль слоев и перпендикулярно им. Пятая постоянная определяется решением задачи о распространении волн под некоторым углом к вертикальной оси, отличным от нуля и $\frac{\pi}{2}$ [Бреховских, 1957]. Однако, поскольку определение скорости распространения продольных и поперечных волн в различных направлениях связано с рядом трудностей (изготовление образцов, точность замеров и т. д.), в рамках данной работы горючий сланец рассматривался условно как изотропная среда. Это допущение обусловлено недостаточной изученностью вопроса и большими трудностями применения математического аппарата при рассмотрении разрушаемого массива как анизотропной среды.

Для определения упругих постоянных были отобраны образцы пород пласта в одном из камерных блоков шахты № 10 треста «Эстонсланец». При этом сохранялась их естественная влажность. Замеры произведены в лаборатории разрушения горных пород Ленинградского горного института по методике А. Н. Ханукаева [1962]. Образцы сланца и известняка подвергались также испытаниям на временное сопротивление на сжатие (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические свойства

Индекс	Объемная масса, 10^3 кг/м^3	Скорость распространения продольной волны, 10^3 м/сек			Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, 10^9 н/м^2	Модуль сдвига, 10^9 н/м^2	Модуль всестороннего сжатия, 10^9 н/м^2	Постоянная Ляме, 10^9 н/м^2	Акустическая жесткость, $10^9 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек}$	Временное сопротивление на сжатие, 10^6 н/м^2
		в кубиках	в стержнях	в массиве							
Чистого сланца											
<i>B*</i>	1,45	2,8	2,3	—	0,32	7,2	2,9	7,4	5,5	4,1	35
<i>B**</i>	1,45	2,5	—	—	—	—	—	—	—	3,6	
<i>C*</i>	1,52	2,6	2,2	—	0,32	7,1	2,7	6,7	4,9	4,0	
<i>C**</i>	1,52	2,4	—	—	—	—	—	—	—	3,6	20
Пород пласта											
<i>F</i>	1,84	—	—	2,9	0,30	12	4,1	9,6	6,6	5,4	—
<i>E</i>	1,56	—	—	2,9	0,32	9,6	3,6	8,6	6,2	4,6	—
<i>E/D</i>	2,23	—	—	4,3	—	—	—	—	—	9,5	54
<i>D</i>	1,71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>D/C</i>	2,46	—	—	5,3	0,31	50	19	44	31	13	87
<i>C</i>	1,64	—	—	2,7	0,31	8,8	3,4	7,8	6,5	4,5	—
<i>C/B</i>	2,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>B</i>	1,50	—	—	2,9	0,32	8,6	3,2	8,2	5,8	4,3	—
<i>B/A'</i>	2,36	—	—	4,4	0,24	38	16	24	14	10	54
<i>A</i>	1,59	—	—	2,6	0,32	7,4	2,8	6,9	5,0	4,1	—

* Вдоль напластования.

** Вкрест напластования.

Как отмечено выше, горючий сланец является многокомпонентной средой. Каждая его пачка, кроме пачки *D*, содержит определенное количество известняковых включений и может рассматриваться как двухкомпонентная среда сланец — известняк. Чистый сланец, в свою очередь,

является многокомпонентной средой, состоящей из кальцита и керогена и содержащей в условиях Эстонского месторождения 10—12% влаги. Поскольку упругие постоянные сланца определены при естественной влажности, а размеры образцов значительно превышали размеры частиц компонентов сланца, с некоторым допущением чистый сланец можно считать однокомпонентной средой.

Упругие постоянные двухкомпонентных сред можно определить по известным формулам [Хашин, 1962]

$$\frac{K}{K_0} = 1 + \frac{3(1-\mu_0) \left(\frac{K_B}{K_0} - 1 \right) c}{2(1+2\mu_0) + (1+\mu_0) \left[\frac{K_B}{K_0} - \left(\frac{K_B}{K_0} - 1 \right) c \right]} \quad (1)$$

и

$$\frac{G}{G_0} = 1 + \frac{15(1-\mu_0) \left(\frac{G_B}{G_0} - 1 \right) c}{7-5\mu_0 + 2(4-5\mu_0) \left[\frac{G_B}{G_0} - \left(\frac{G_B}{G_0} - 1 \right) c \right]}, \quad (2)$$

где K — модуль всестороннего сжатия двухкомпонентной среды;
 G — модуль сдвига двухкомпонентной среды;
 K_0 и G_0 — соответствующие постоянные основной среды (сланца);
 K_B и G_B — соответствующие постоянные включений (известняка);
 μ_0 — коэффициент Пуассона основной среды;
 c — объемное содержание включений, доли единицы.

Содержание включений, как и объемная масса пород пласта, определены в Институте сланцев [Ситс, 1964].

При вычислении K и G для двухкомпонентной среды нетрудно определить и остальные упругие постоянные.

Сопоставление данных табл. 1 и 2 подтверждает возможность с достаточной для практики точностью рассматривать сланец как изотропную среду, а породы пласта — как двухкомпонентную среду. Разница в величине модуля упругости, по данным наблюдений и расчетов по предлагаемой методике, не превышает 15—18%.

Как видно из табл. 2, между упругими постоянными и акустической жесткостью горючего сланца и известняка существует разница в 2—4 раза. При расположении заряда ВВ в сланце энергия взрыва поглощается в нем за счет более высокой ударной сжимаемости сланца и за счет отражения волн на границе раздела сланец — известняк. Этим обстоятельством можно частично объяснить недостаточную эффективность ряда применяемых на шахтах паспортов буровзрывных работ приводящих к уменьшению использования шпуров и неравномерности дробления.

Выводы

1. Предварительной оценкой упругих постоянных пород пласта Эстонского месторождения горючих сланцев электронно-акустическим методом отнесен к двухкомпонентной среде.

2. Существенная разница в акустической жесткости известняка и горючего сланца определяет изменение характера распространения энергии взрыва в породах пласта горючих сланцев.

3. Полученные данные можно использовать при разработке более рациональных схем расположения шпуров при отбойке горючих сланцев.

ЛИТЕРАТУРА

- А л л и к А. М. Упорядочение буровзрывных работ на эстонских сланцевых шахтах. Взрывное дело, № 44/1, 1960.
- А л л и к А. М. Штанговая крепь на сланцевых шахтах. Недра, 1964.
- Б а к и н о в Г. П., Б е з к а р а в а й н ы й В. Г. Об устойчивости междукammerных целиков. Сланцевая и хим. пром., № 3, 1964.
- Б е з у х о в Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Высшая школа, 1961.
- Б р е х о в с к и х Л. М. Волны в слоистых средах. Изд-во АН СССР, 1957.
- С е д е з н е в Н. И., Ж а р к о в С. Н. Результаты исследования горного давления на шахтах Эстонского месторождения сланцев. Техн. бюлл. Эст. Респ. НИТО, № 5, 1959.
- С и т с Х. К. определению параметров пласта Эстонского месторождения горючих сланцев. В сб. Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки. Вып. 13. Недра, 1964.
- Х а н у к а е в А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. Госгортехиздат, 1962.
- Х а ш и н Ц. Упругие модули неоднородных материалов. Прикладная механика, № 1, 1962.
-