Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVII, вып. I, 1969 г.

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД КРОВЛИ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ В ШАХТАХ ЛЕНИНГРАДСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Р. Э. Дашко, Ю. Ф. Кузнецов

Геологический разрез кровли Ленинградского месторождения довольно сложен и характеризуется большим разнообразием литологических типов (от слабых глинистых горючих сланцев до весьма прочных известняков), их изменчивостью по расстояниям залегания от кровли промпачки и мощности. Наиболее опасной с точки зрения возможности обрушения является 90-сантиметровая пачка пород, считая от кровли промпласта, разрез которой наиболее сложен и обобщенно может быть представлен в следующем виде.

1. Нижняя часть (мощность 0,15—0,20 *м*) представлена сложным переплетением горючего сланца с органогенным известняком, причем содержание известняка в процентном отношении приблизительно равно содержанию сланца.

2. Средняя часть (мощность 0,35—0,45 *м*) представлена органогенными и мергелистыми известняками, содержащими органику и включения сланца в виде тонких переслаиваний.

3. Верхняя часть (мощность 0,30—0,35 *м*) сложена глинистыми известняками и мергелистыми разностями с горючим сланцем.

Испытания образцов пород на сжатие и разрыв из верхней, средней и нижней частей данной пачки показали, что значения их пределов прочности $\sigma_{сж}$ изменяются незначительно и средневзвешенное по всей мощности пачки может быть принято 340 *кг/см*^{2}. Несколько больший разброс дают результаты испытаний на разрыв—соответственно 23, 30 и 20 *кг/см*^{2}, при средневзвешенном значении 25 *кг/см*^{2}.

В целях обобщенной характеристики все разности выше описываемой пачки пород были подразделены на следующие группы, близкие по своим литолого-петрографическим признакам и физико-механическим свойствам: а) сланцы горючие и глинистые (сюда отнесены и сланцы, содержащие в небольшом количестве конкреции известняка); б) карбонатные породы (серые и так называемые розовые известняки, мергелистые известняки и др.); в) породы, представляющие переплетения известняка и сланца, а также известняки с тонкими прослойками сланцев, которые обычно не разделимы для самостоятельных испытаний.

Основным видом испытаний механических свойств пород являлась оценка их пределов прочности на сжатие и разрыв. Испытания проводились в лаборатории при влажности, близкой к естественной, на образцах цилиндрической и полуправильной формы [2]. Приведем зна-

чения пределов прочности образцов на сжатие (числитель) и разрыв (знаменатель) выделенных разновидностей пород, *кг/см²*:

	а	*б*	*в*
Число определений	15/14	28/21	47/31
Среднее арифметическое	230/24	730/74	400/50
Медианное	225/25	700/60	400/50
Модальное	250/20	750/80	400/60
Максимальное	320/45	950/100	550/65
Минимальное	125/15	550/60	250/30
Квадратичное отклонение	50/9	130/11	77/11
Коэффициент вариации, %	22/39	18/14	19/23

Разбросы значений пределов прочности сланцев на сжатие объясняются колебаниями естественной влажности W от 4 до 9% и различным содержанием конкреций известняка. Большие значения коэффициента вариации, полученные для показателя предела прочности на разрыв, очевидно отражают другой вид напряженного состояния породы, при котором более отчетливо проявляется трещиноватость образцов и влияние их размеров.

Карбонатные породы отличаются довольно высокими значениями пределов прочности. Низкие величины коэффициента вариации свидетельствуют о правомерности объединения различных типов этих пород в одну группу. Третья группа пород характеризуется значениями пределов прочности, близкими к средним между карбонатными породами и сланцами.

По результатам испытаний на одноосное сжатие по углу наклона плоскости скольжения к направлению главного напряжения ориентировочно определялся угол внутреннего трения φ пород, который позволил рассчитать и величину сцепления по формуле

$$C_к = \frac{\sigma}{2} \operatorname{tg}(45° - \varphi/2). \qquad (1)$$

Механические характеристики пород указанных групп будут иметь следующие значения:

	а	*б*	*в*
W, %	4—9	1—3	2—5
φ, *град*	24—28	32—34	30—32
$C_к$, *кг/см²*	50—90	160—275	85—150

Приведенные показатели относятся к отдельному куску (образцу) породы, рассматриваемому изолированно, вне связи с массивом пород. При рассмотрении же работы кровли следует учитывать, что она работает как единое целое, и свойства образца, как известно, не отражают еще свойств массива. Специфическими особенностями массива пород кровли рассматриваемого месторождения являются: неоднородность строения, выражающаяся в переслаивании пород, обладающих различными физико-механическими свойствами, и трещиноватость как естественного, так и технологического происхождения.

Наличие слабых прослойков в толще проявляется в снижении несущей способности кровли. Проведенные нами исследования зависимости предела прочности образцов естественных пород, состоящих из прослоев известняка и сланца, от содержания сланца, как более слабого, показывают, что эта зависимость имеет вид показательной функции и может быть представлена в виде

$$\sigma_{сл} = \sigma_{кр} e^{-1{,}25\,m}, \qquad (2)$$

где $\sigma_{сл}$ и $\sigma_{кр}$—предел прочности соответственно слоистого образца и известняка (крепкого слоя), *кг/см*^{2}; m — относительное содержание сланца по мощности ко всей высоте образца, доли единицы.

Формула (2) может служить основой для пересчета слоистой толщи на однородную с учетом влияния слабых прослойков.

Оценивая влияние трещиноватости массива пород, необходимо различать две группы трещин. К первой относятся крупные тектонические трещины, прослеживающиеся на сравнительно большом расстоянии друг от друга и являющиеся потенциальными поверхностями смещения, по которым может происходить обрушение кровли. Такими трещинами в данных условиях являются тектонические трещины северо-западного и северо-восточного простирания, расстояние между которыми обычно колеблется в пределах 10—30 *м*. Ко второй группе относятся трещины, секущие массив на относительно небольшие блоки (трещины отдельности, кливажа и т. п.). Последние заметно снижают прочность массива пород. Обе группы относятся к трещинам естественного происхождения. Однако следует учитывать и технологические, образующиеся при ведении взрывных работ, которые способствуют раскрытию микро- и волосяных трещин. Наблюдения, проведенные на шахтах, показали, что размеры блоков колеблются в основном от 1,0 до 1,5 *м*.

Влияние трещиноватости на прочность массива пород можно оценить с помощью эмпирической зависимости [4]

$$C_м = \frac{C_к}{1 + a \ln \frac{H}{l}}, \qquad (3)$$

где $C_м$ и $C_к$—соответственно величина сцепления в массиве и образце (куске), *кг/см*^{2}; a—эмпирический коэффициент, назначаемый по таблицам [4] в зависимости от прочности образца и характера трещиноватости; H—максимальная зона деформаций, *м*; l—средний размер элементарного блока, *м*.

Таким образом, представляется возможность оценить прочностные свойства пород кровли, учитывая ее слоистое сложение и трещиноватость. Поскольку зависимость (3) справедлива для однородной породы, то необходимо предварительно произвести пересчет слоистой толщи, которой является кровля рассматриваемого месторождения, на однородное состояние по формуле (2). При этом встает вопрос, для какого значения H в формуле (3) следует производить эти расчеты.

В условиях Ленинградского месторождения сланцев обрушения кровли происходят циклично, при этом мощность обрушающейся толщи приурочена к определенным плоскостям расслоения на контактах слабых и прочных пород и зависит в основном от ширины пролета выработки. Так, в вентиляционных, сборных и бортовых штреках, ширина пролета которых составляет 4—6 *м*, максимальная мощность обрушающейся пачки пород не превышает 0,9 *м* и часто равна 0,45 *м*. В спаренных лавах, при пролете 20—22 *м*, кровля обрушается на высоту до 1,7 *м*. При отработке системой „камер-лав", где ширина пролета достигает 32—36 *м*, отслоение распространяется на высоту 2,6 *м* и нередко достигает 3,4 *м*, причем обычно наблюдается последовательное отслоение кровли по площади и высоте. В панельных откаточных штреках, где отсутствует нижняя пачка, максимальная мощность отслаивающихся пород обычно равна 0,80 *м*. Следовательно, представляет интерес оценка прочностных свойств тех пачек, которые непосредственно и одновременно участвуют в цикле обрушения. Значения

мощностей таких пачек пород, считая от кровли промпласта, будут 0,45, 0,9, 1,7, 2,6 *м*.

Определение сцепления в однородном образце производилось по формуле (1), в которой угол внутреннего трения принят равным 30°. Расчет величины сцепления в массиве велся в предположении, что в формуле (3) мощность деформируемой зоны равна мощности пачки пород; принималось $a=3$ [4], $l=1{,}0$ *м*.

Определение мощностей литологических типов пород в выделенных пачках (табл. 1) производилось с учетом фактических разрезов кровли.

Таблица 1

Данные пересчета предела прочности образцов пород кровли к прочности отдельных пачек пород в массиве с учетом его слоистого сложения и трещиноватости

Мощность, *м*		Типы пород	σ, *кг/см²*	σ, пересчитанный на однородное состояние по формуле (2)	$C_к$, *кг/см²*	$C_м$, *кг/см²*	σ массива пород, *кг/см²*
общая пачки, отсчитывая от кровли промпласта	отдельных литологических разностей						
0,90	0,20 0,25 0,45	Переплетение известняка и сланца Глинистый известняк с прослоями сланца	340	340	98	98	340
1,70	0,20 0,25 0,45	То же	340	320	92	35	105
	0,31 0,42	Сланцы Карбонатные разности	230 730				
	0,07	Переплетение известняка и сланца	400				
2,60	0,20 0,25 0,45	То же, что и для пачки мощностью 0,90 *м*	340	330	95	25	86
	0,63 0,51	Сланцы Карбонатные разности	230 730				
	0,56	Переплетение известняка и сланца	400				

Расчеты показывают, что прочность массива пород резко уменьшается при увеличении мощности деформируемой зоны с учетом трещиноватости пород кровли (примерно в 3—4 раза по сравнению с прочностью образца).

Характеристика прочностных свойств массива пород не будет полной, если не учитывать влияния фактора времени на изменение напряженного состояния и деформируемости горных пород.

Для получения реологических характеристик были проведены испытания на ползучесть ряда проб горных пород.* Физико-механические свойства исследуемых пород приведены в табл. 2.

* Методика испытаний изложена в статье Ю. Ф. Кузнецова в настоящем сборнике.

Таблица 2

Физико-механические свойства исследуемых пород

Породы	Удельный вес, $г/см^3$	Пористость, %	σ_u, $кг/см^2$	Число образцов	Коэффициент вариации, %
Горючий сланец с конкрециями	1,97	23,36	59,2	4	9,2
Карбонатные породы (известняки)	2,51—2,89	19,63—23,11	59,7	8	15,2

Таблица 3

Результаты исследований на ползучесть

Породы	Образцы	σ_t, % от σ_u	Время стабилизации ползучести, $ч$	$y \times 10^3$, $см$		$\Delta y \times 10^3$		γ, $г/см^3$	$E_{дин} \times 10^{-5}$, $кг/см^2$
				начальная	конечная	$см$	%		
Горючий сланец	13	95	2000	18,8	23,1	4,3	22	1,60	0,72
	10	79	1180	15,7	40,9	25,2	159	1,61	0,71
	8	66	1080	11,4	20,1	8,7	76	1,61	0,65
	4	38	1100	6,6	18,2	11,6	176	1,62	0,75
Известняки	3	70	1200	4,56	11,80	7,24	159	2,31	2,12
	4	50	1200	2,85	5,93	3,08	108	2,23	2,21
	5	50	1200	3,22	12,0	8,78	270	2,28	2,28
	8	70	1220	2,98	6,99	4,01	135	2,35	2,35
	12	70	800	5,00	7,50	2,50	50	2,24	2,27
	16	70	1000	3,31	5,36	2,05	132	2,42	2,90

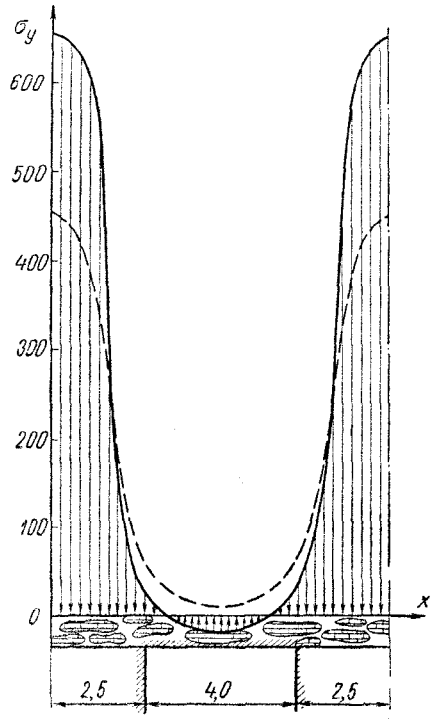
Таблица 4

Породы	Образцы	По образцу		Среднее по породе	
		δ, $сек^{\alpha-1}$	α	δ, $сек^{\alpha-1}$	α
Горючий сланец	13	0,00850	0,390		
	10	0,00400	0,648		
	8	0,00340	0,724	0,00579	0,686
	4	0,00996	0,669		
Известняки	3	0,0214	0,834		
	4	0,0215	0,852		
	5	0,0263	0,796		
	8	0,0178	0,842	0,0146	0,820
	12	0,0056	0,769		
	16	0,0068	0,806		

Из табл. 3 видно, что деформации ползучести известняков составляют от 50 до 160% по сравнению с начальной (упругой). Большое приращение деформации у образца 5, очевидно, можно объяснить значительной пористостью (23,1%). Экспериментальные данные позволяют отметить затухающий характер ползучести и значительный период времени ее стабилизации у исследованных пород. Только в одном случае при испытании образца 13 наблюдалось разрушение по истечении 2 $ч$ от начала опыта. Большая часть деформаций ползучести относится к первым 120 $ч$ процесса деформирования. Полученные эксперименталь-

ные данные были использованы для расчета параметров ползучести. Расхождения теоретических и опытных значений деформаций, изменяющихся во времени y_t, в основном не превышали $+5\%$. Определенные значения параметров приведены в табл. 4.

В качестве примера использования полученных параметров ползучести приведем расчет устойчивости кровли в незакрепленном штреке шириной $l=4{,}0$ *м*. Разделение непосредственной кровли на отдельные пачки и литологический разрез каждой из пачек приведен выше (табл. 1). Соотношение прочностей разностей пород (известняков) и слабых (сланцев) может быть принято как 2,3 : 1.



Эпюра нормального давления на контакте слоев в двухслойной потолочине при $t=1150$ (сплошная) и $t=0$ (пунктир).

Допустим, что по физико-механическим свойствам эти породы такие же, как и исследованные известняки и сланец (табл. 2). Средние величины модулей упругости для этих проб возьмем из табл. 3. Тогда модуль упругости для приведенной пачки пород, как средневзвешенный, составит $E_1=1{,}87\cdot10^5$ *кг/см*^{2}. Взяв параметры ползучести α и δ для этих проб из табл. 3, определим средневзвешенные параметры ползучести приведенной пачки. При этом получим

$$\alpha=0{,}772, \quad \delta=0{,}01154.$$

Допуская некоторую погрешность, будем считать, что время стабилизации ползучести для известняков и сланца одинаково и равно 1150 *ч*.

Рассмотрим потолочину в штреке как двухслойную и определим нагрузку, воспринимаемую нижним слоем мощностью $h_1=0{,}90$ *м*. Принимаем, что покрывающая толща пород, расположенная над первым слоем, состоит из сравнительно тонких перемежающихся слоев горючего и глинистого сланцев, известняка и мергеля. Условно принимаем, что объемный вес этой толщи $\gamma=2$ *т/м*^{3}, модуль упругости $E=1{,}5\times\times10^4$ *кг/см*^{2}, мощность покрывающей толщи $h=80$ *м*, коэффициент Пуассона $\mu=0{,}30$.

Далее, используя выкладки в работах [3, 1], получим расчетные величины давлений σ_y на контакте двух слоев при трех значениях времени t, *т/м*^{2}:

t, *ч*	0,0	120,0	1150,0
$x=0$	—451,2	—560,0	— 645,0
$x=2{,}5$ *м*	— 59,9	— 30,8	— 13,0
$x=4{,}5$ *м*	— 8,1	+ 13,2	+ 16,8

Построенные по этим данным эпюры давлений (см. рисунок) указывают на ухудшение условий устойчивости двухслойной потолочины при проявлении свойств ползучести уже в первые 5 суток с момента обнажения кровли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ержанов Ж. С. Теория ползучести горных пород и ее приложение. Наука, 1964.
2. Койфман М. И. Скоростной комплексный метод определения механических свойств горных пород. В сб. „Механические свойства горных пород". Изд-во АН СССР, 1963.
3. Руппенейт К. В. Некоторые вопросы механики горных пород. Углетехиздат, 1954.
4. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьера. Недра. 1965.