Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVII, вып. 1, 1969 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ НЕКОТОРЫХ ПОРОД

Ю. Ф. Кузнецов

Для полной характеристики горных пород необходимо учитывать их реологические свойства, одним из проявлений которых является ползучесть. Испытание пород на ползучесть при одноосном сжатии [2,8] требует применения достаточно тяжелого оборудования—специальных пружинных прессов. Деформация замеряется между торцами породного образца, в то время как однородное напряженное состояние наблюдается только в средней части по его высоте [7]. При исследовании ползучести пород испытанием образца на изгиб используются более простые установки и при определенном отношении пролета образца к его высоте напряженное состояние можно считать близким к однородному [5,6].

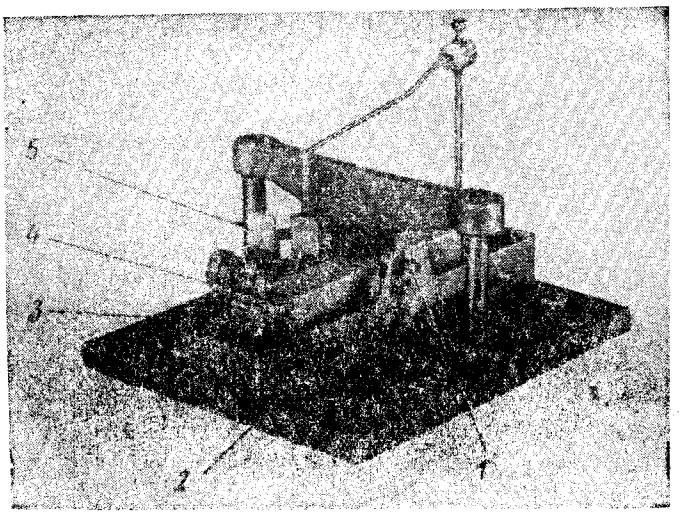


Рис. 1. Испытательная установка:
1—нажимной ролик; *2*—опорный ролик; *3*—образец; *4*—крепежная скоба; *5*—зеркало.

Методика испытаний образцов в условиях поперечного изгиба [4] имеет ряд недостатков: на каждой секции стенда устанавливается по 2—3 образца, что не исключает вынужденного деформирования одного из них при установке или разрушении другого; громоздкое нагрузочное устройство; измерение деформаций (прогибов) индикаторами

часового типа дает существенные погрешности, так как при нагружении образца индикатор, установленный в середине пролета, регистрирует и деформации сжатия образца на опорах, которые также изменяются во времени.

Методика испытаний, принятая автором, устраняет эти недостатки. Испытания проводились на конструктивно простых и легких рычажных установках, созданных на базе компрессионных приборов. Чтобы устранить влияние внешней вибрации на ползучесть материала образцов, станины установок ставятся на резиновые амортизаторы, которые изготовлены из кусков листовой вакуумной резины толщиной 10 *мм*. Кроме того, нагрузка на рычаг (с соотношением плечей 1:10) передается через цилиндрическую пружину. Для замера прогибов используется зеркальный прибор (рис. 1), устанавливающийся непосредственно на образец по схеме Г. Н. Кузнецова [6]. Изменения деформаций (прогибов) образцов регистрируются поочередно одним нивелиром, установленным неподвижно в центре окружности, по дуге которой расположены 8 рычажных установок (рис. 2).

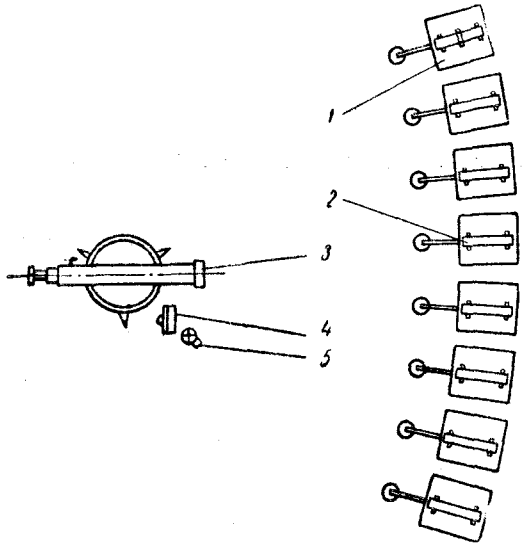


Рис. 2. Схема расположения испытательных установок:

1—рычажная установка; *2*—образец-балочка; *3*—нивелир; *4*—шкала; *5*—электролампа.

Станины последних выверяются так, чтобы при визировании оптическую ось нивелира не приходилось существенно перемещать в вертикальной плоскости. Это позволяет одновременно производить длительные испытания группы образцов при достаточно быстром взятии отсчетов по каждому с точностью 0,001 *мм*. Нами испытывались образцы $20\times20\times160$ *мм*, тщательно обработанные на планшайбе. Концы балочек свободно опирались на роликовые опоры диаметром 4,5 *мм*. Сосредоточенная нагрузка прилагалась перпендикулярно слоистости через ролик диаметром 6 *мм* (рис. 1) в середине пролета шириной 140 *мм*. Прогиб в середине пролета вычислялся [6] по формуле

$$y=\Delta rq,$$

где Δr—разность отсчетов по шкале зеркального прибора;

q—цена деления шкалы, зависящая от расстояния между плоскостью зеркал и шкалой прибора, а также от величины пролета образца-балочки.

Чтобы исключить разброс показателей физико-математических свойств породы из одной пробы при изучении ползучести, по каждому образцу определялись величина динамического модуля упругости $E_{дин}$ и объемный вес γ. $E_{дин}$ определялся на приборе ИЧМК-2 резонансным методом [1]. Определив значения $E_{дин}$ и γ ряда образцов из одной пробы, часть из них, имевших близкие показатели физико-механических свойств, отбиралась для длительных испытаний. Другая часть образцов испытывалась на изгиб для получения кратковременного предела прочности $\sigma_{изг}$. При этом образец плавно нагружался сталь-

ной дробью дозатором со скоростью 5,5—6,0 *кг/мин*. Испытаниям подверглись: известняк из кровли промпласта *I*, второй (рабочий) слой горючего сланца *II*, отобранные в шахте 3 треста „Ленинградсланец" и талькохлоритовый сланец *III*:

		II	*III*
Удельный вес, *г/см*^{3}	2,85	1,47	3,03
Пористость, %	13,34	17,69	8,60
Коэффициент пористости	0,15	0,22	0,09
Число испытанных образцов	4	5	4
$\sigma_{изг}$, *кг см*^{2}	107,2	60,2	255,0
Коэффициент вариации, %	7,2	13,5	15,0

На образцы наклеивались стальные пластинки толщиной 0,08 *мм* и шириной 5 *мм*, после чего образцы покрывались двумя-тремя слоями клея 88. Испытания проводились на образцах с относительной влажностью горючего сланца 1,1% и известняка 0,3%. Образцы талькохлорита испытывались в воздушно-сухом состоянии. Температура воздуха в лаборатории в период длительных испытаний колебалась в пределах ±2°С. В задачу основных экспериментов входило получение данных о ползучести горных пород под действием постоянных во времени нагрузок. Для этого образец-балочка с прикрепленными зеркалами устанавливался на опоры, производилась настройка прибора и брался первый отсчет. Затем образец нагружался расчетной нагрузкой σ_t и через 10—15 *сек* брался второй отсчет. После снижения скорости деформирования (примерно через 10—20 *мин*) приступали к установке и настройке следующего образца. Наблюдение за деформациями образцов производилось с помощью нивелира, установленного на расстоянии более 5 *м*. По мере снижения скорости деформирования увеличивался интервал времени между замерами деформаций от 20 *сек* до 24 *ч*. Испытание считалось законченным, если в течение 2—3 суток не наблюдалось увеличения деформации или приращение ее составляло не более 0,2 *мк*. Испытания продолжались от 40 *мин* до 74 суток, что зависело от типа пород и величины длительной нагрузки. В основном испытания проводились под нагрузками σ_t, составлявшими 90, 70 и 50% от предела прочности $\sigma_{изг}$.

Под начальной (мгновенной) деформацией понимается прогиб, замеренный через 10—15 *сек* после нагружения, а под конечной (полной)—наибольший прогиб, зафиксированный в конце длительных испытаний. Разность конечной и начальной деформаций составляет приращение деформации Δy. На основании экспериментальных данных построены графики (рис. 3), по которым видно, что процессы деформирования относятся к затухающей ползучести. Из табл. 1 видно, что приращения деформаций ползучести известняка и талькохлорита составляют от 7 до 22% в течение 24—140 *ч* для известняка и 280—450 *ч* для талькохлорита. Процесс длительного деформирования горючего сланца значительно отличается от известняка и талькохлорита. Для него период ползучести составляет от 740 до 1750 *ч*, деформация ползучести—от 110 до 139%. По результатам испытаний можно отметить, что во всех случаях большей нагрузке σ_t в любой момент времени t соответствует и большая деформация, но с увеличением σ_t деформация ползучести растет несколько быстрее. Эта нелинейность не является резко выраженной.

Скорости деформирования в начале и конце испытаний резко отличаются. Максимальная скорость наблюдается в первые часы. В табл. 1 приведено нарастание деформации ползучести в процентах от конечной ее

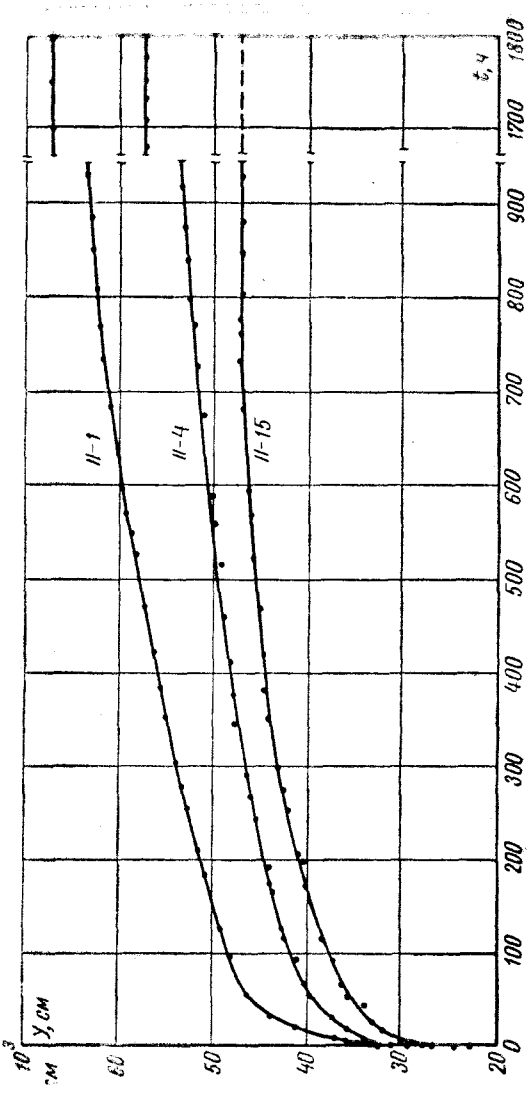


Рис. 3. Графики ползучести горючего сланца (рабочий слой).

Результаты испытаний на ползучесть

Таблица 1

Образцы	Расчетная нагрузка σ_t		Деформация $y \cdot 10^3$ см		Приращение деформации		Нарастание деформации через время, ч в % от Δy			Срок стабилизации, ч	$E_{дин} \cdot 10^{-5}$ кг/см²	γ г/см³
	в % от $\sigma_{изг}$	кг/см²	начальная	конечная	$\Delta y \cdot 10^3$, см	%	24	72	120			
I—17	88	94,0	4,56	5,35	0,79	17	57	72	100	140	3,88	2,57
I—2	69	74,0	4,22	5,02	0,80	19	46	86	100	120	3,60	2,58
I—20	50	53,8	3,22	3,45	0,23	7	100	—	—	24	3,89	2,57
II—1	90	54,2	28,0	66,9	38,9	139	31	43	49	1750	0,35	1,40
II—4	80	48,0	25,9	57,0	31,1	120	35	46	53	1710	0,37	1,34
II—15	70	42,1	22,4	47,0	24,6	110	43	57	66	740	0,34	1,41
III—14	90	229	5,35	5,98	0,63	12	94	94	97	280	6,95	3,43
III—11	73	186	4,56	5,36	0,80	13	91	92	93	440	6,94	3,49
III—9	60	153	4,25	5,18	0,93	22	87	90	91	450	7,10	3,45

величины, при этом полное приращение деформации Δy принято за 100%. За первые сутки в образцах известняка и талькохлорита происходит от 46 до 100% деформации ползучести. За это время в образцах сланца деформации ползучести возрастают от 31 до 43%. Из табл. 1 следует, что большая часть приращений деформации ползучести горючего сланца относится к первым 120 *ч*, остальная часть — к последующему периоду процесса деформирования, который составляет 1700 *ч*.

Обработка экспериментальных данных заключалась в определении параметров ползучести для каждой разновидности пород. Для аналитического описания длительного деформирования исследованных пород была использована теория, изложенная в работе Ж. С. Ержанова [3], по которой закон деформирования образца-балочки во времени имеет вид

$$y(t)=y+y\frac{\delta}{1-\alpha}t^{1-\alpha},$$

где α и δ — параметры ползучести, δ — в $сек^{\alpha-1}$.

Эти параметры определялись для горючего сланца аналитически с использованием способа наименьших квадратов, а для остальных пород — графически. Для графического решения указанное уравнение преобразовывается в логарифмический вид

$$\lg u=\lg a+b\lg t,$$

где $$u=\frac{y(t)}{y}-1,$$

$$a=\frac{\delta}{1-\alpha},$$

$$b=1-\alpha.$$

Таблица 2

Вычисленные параметры ползучести

Образцы	По образцу		Среднее по породе	
	δ	α	δ	α
I—17	0,00370	0,850		
I—2	0,00345	0,824	0,00286	0,844
I—20	0,00143	0,860		
II—1	0,00615	0,732		
II—4	0,00505	0,723	0,00558	0,726
II—15	0,00554	0,723		
III—14	0,00168	0,904		
III—11	0,00226	0,889	0,00196	0,859
III—9	0,00184	0,779		

График деформация—время (рис. 3) перестраивается в логарифмических координатах $\lg u$—$\lg t$, причем значения u и t находятся по опытным данным. Так как полученное уравнение линейное, то значение $\lg a$ определяется графически как отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, а через угол наклона этой прямой к оси абсцисс находим $\operatorname{arc\,tg} b$. Далее вычислялись параметры ползучести (табл. 2).

Оценка пригодности полученных параметров производилась сравнением вычисленных значений деформаций с полученными экспериментально.

Расхождения, как правило, не превышали 5%; для образца 3—15 оно составило 10% в конце периода ползучести. Указанные погрешности могут привести только к некоторому завышению теоретических значений деформаций, что можно принять в запас устойчивости. Следовательно, найденные параметры могут быть использованы для расчета напряженно-деформированного состояния горных пород вокруг подземных выработок с учетом фактора времени.

Выводы

1. Методика испытаний, испытательные установки на ползучесть и способ замера прогибов образцов-балочек позволили одновременно исследовать 8 образцов и повысить надежность опытных данных. Передача нагрузки на рычаг через цилиндрическую пружину и использование резиновых амортизаторов практически устранили влияние внешней вибрации на образец во время длительных испытаний.

2. Ползучесть горных пород средней крепости с различными физико-механическими свойствами, при нагрузках, составляющих 50÷90% от разрушающих, носит затухающий характер. Деформация ползучести горючего сланца составляет 110—139% от начальной (мгновенной). По абсолютному значению эта деформация в среднем в 40—50 раз больше деформаций талькохлорита и известняка.

3. Следует отметить, что продолжительность испытания отдельного образца остается значительной, в связи с чем необходима разработка методов, ускоряющих длительные испытания без снижения надежности опытных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурштейн Л. С. О динамическом модуле упругости некоторых горных пород. Зап. ЛГИ, т. LI, вып. 1, 1966.

2. Глушко В. Т. Испытание пород на ползучесть. Изв. ВУЗов, Горн. ж. № 3, 1961.

3. Ержанов Ж. С. Теория ползучести горных пород и ее приложение. Наука, 1964.

4. Ержанов Ж. С., Гуменюк Г. Н. Закономерности деформаций ползучести карагандинских горных пород при изгибе. Наука, 1967.

5. Ержанов Ж. С., Парческий Л. Я. Ползучесть горных пород Донбасса при изгибе. Изв. ВУЗов. Горн. ж. № 8, 1958.

6. Кузнецов Г. Н. Механические свойства горных пород. Углетехиздат, 1947.

7. Методические указания по лабораторным испытаниям деформативности крепких горных пород при одноосном сжатии. РТП ВНИМИ, 1967.

8. Руппенейт К. В. Давление и смещение горных пород в лавах пологопадающих пластов. Углетехиздат, 1957.