Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т./XIУ, вып. 1, 1974 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АЛЕВРОПЕСЧАНИКА И СОЛЯНЫХ ПОРОД

Ю.Ф.Кузнецов, В.С.Ливенский

В настоящее время разработка полезных ископаемых ведется и проектируется на больших глубинах. Практика показывает, что на глубинах порядка 800 м устойчивость горных выработок значительно ухудшается. Для прогнозирования их устойчивости необходимо всесторонне исследовать физико-механические свойства горных пород, в особенности реологические свойства, например, релаксации напряжений.

Релаксационные процессы в образцах горных пород изучались Л.Я.Парчевским [6] при изгибе и и Ю.И.Бурчаковым и др. [1] при сжатии. В первом случае кривые релаксации песчаника, аргиллита и алевролита получены подстановкой в функцию релаксации параметров ползучести, определенных ранее по данным лабораторных испытаний. При исследовании Л.Я.Парчевский использовал теорию линейного деформирования наследственных сред.

Анализ публикаций указывает на отсутствие надежных методов исследования горных пород на релаксацию. В то же время этот метод имеет преимущества перед испытание на ползучесть: значительно сокращается продолжительность исследования реологических свойств, могут быть использованы образцы из кернов буровых скважин.

Нами предложен усовершенствованный метод испытания образцов горных пород правильной формы на простую релаксацию в условиях одноосного сжатия [5]. Используется машина *Rel* – 5, выпускаемая в ГДР для испытания металлических образцов на простую релаксацию при высокой температуре. Машина снабжена соответствующей автоматикой и самопишущим диаграммным прибором, позволяющим в процессе испытания записать техническую кривую падения нагрузки во времени. Так как машина предназначена для изучения релаксации металлических образцов при одноосном растяжении, то для испытания образцов горных пород при сжатии в схему нагружения и замера деформаций введены несложные дополнительные устройства (рис. 1). Для изменения направления нагрузки разработан механический реверсор 1, который позволяет испытывать образец породы призматической или цилиндрической формы диаметром до 5 см и высотой до 10 см. Деформация образца 2 по всей его высоте снимается кварцевыми мерными стержнями 3, 4, контактирующими с передатчиком деформаций, который преобразует измеряемую деформацию в электрическую величину, что и обеспечивает возможность автоматического управления нагрузкой, действующей на образец.

Этим методом были исследованы релаксационные свойства алевропесчаника и соли, показатели физико-механических свойств которых приведены в табл. 1. Размеры испытанных образцов (призм) составляли: алевропесчаник 2x2x4 см; сильвинит и каменная соль 4x4x8 см. Различие в размерах образцов

объясняется прочностью пород и величиной максимального усилия релаксометра равной 5 т. Испытано по три образца каждой породы при различных начальных напряжени я х σ_0 , составивших от 0,9 до 0,6 от кратковременного предела прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ (табл.2). Нагрузка прикладывалась перпендикулярно напластованию. Продолжи - тельность испытаний составила до 50 ч для сильвинита и каменной соли и до 144 ч для алевропесчани - ка.

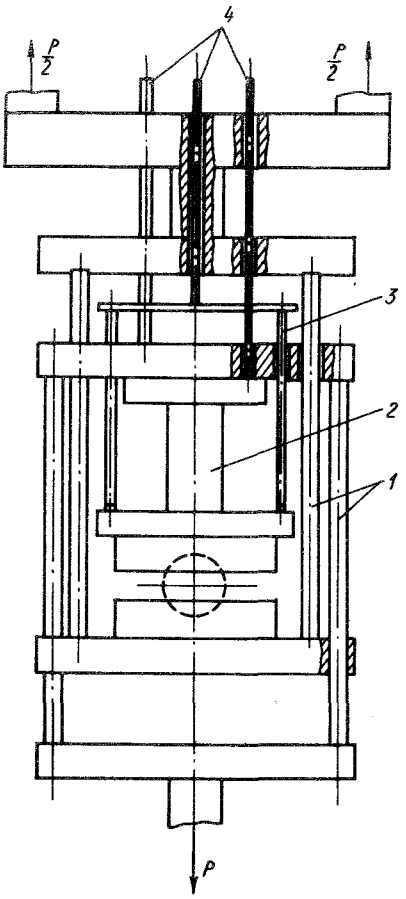


Рис.1. Схема нагружения и замера деформаций образца

Графики релаксации напряжени й в алевропесчанике (рис. 2а) показывают,что самая высокая скорость падения напряжений наблюдается в первые два–три часа.

Как следует из табл. 1, проч - ность соляных пород в 5 - 6 раз меньше алевропесчаника, поэтому они значительно отличаются по реологическим свойствам. Весьма высокие скорости падения напряжений наблюдаются в первые минуты после окончания нагружения образца. После 40–50 ч кривые релаксации сильвинита начинают выполаживаться (рис. 2,б), а у каменной соли несколько раньше (рис. 2,в), но снижение напряжений заметно продолжается, поскольку процесс ползучести к этому времени еще не стабилизировался. Таким образом , релаксационный процесс в материале практически прекращается, когда остаточные (нерелаксируемые) напряжения перестанут вызыв а т ь ползучесть материала.

При обработке опытных кривых релаксации (рис. 2а, б, в) оказалось,что для всех образцов в полулогарифмических координатах $\sigma_t - \lg t$ экспериментальные точки располагались вплотную к соответствующим прямым.

Используя это обстоятельство и то, что наибольшая скорость релаксации наблюдается в первые несколько часов от начала испытания, можно определить момент времени $t_{ст}$, при котором процесс релаксации напряжений практически заканчивается. Этого можно достичь экстраполяцией опытного графика в координатах $\sigma_t - \lg t$ (рис. 2), если задаться точностью определения

Таблица 1

Название породы и условное обозначение	Место отбора породы	Предел прочности $\sigma_{сж}$, кг/см^2	Объемный вес γ, т/м^3	Динамический модуль упругости $E_д \cdot 10^{-5}$, кг/см^2
Алевропесчаник, A_8	Шахта им.XXП съезда КПСС, Донбасс, горизонт 800 м	1528	2,63	4,81
Сильвинит, C_{II}	1-й рудник Старобинского месторождения, II горизонт 430 м	295	2,05	3,0
Каменная соль, K_{II}	1-й рудник Старобинского месторождения, II горизонт 430 м	200	2,08	2,53
Каменная соль, K_{III}	1-й рудник Старобинского месторождения, III горизонт 630 м	250	2,11	3,25

Таблица 2

Условное обозначение образца	$\frac{\sigma_0}{\sigma_{сж}}$	Параметры релаксации		$\varepsilon_р$
		α	$\delta^{\alpha-1}$ (сек)	
A_8-1	0,8	0,859	0,00275	0,893
A_8-2	0,7	0,840	0,002064	0,908
A_8-3	0,6	0,841	0,001622	0,927
C_{II}-5	0,9	0,815	0,0218	0,271
C_{II}-3	0,75	0,809	0,0210	0,280
C_{II}-1	0,67	0,817	0,0201	0,302
K_{II}-5	0,82	0,764	0,0354	0,040
K_{II}-3	0,715	0,779	0,0312	0,0740
K_{II}-10	0,68	0,783	0,0336	0,080
K_{III}-6	0,9	0,789	0,0218	0,191
K_{III}-5	0,73	0,827	0,0237	0,274
K_{III}-3	0,7	0,836	0,0170	0,417

величин нерелаксируемого напряжения. Для алевропесчаника, пренебрегая малой скоростью падения напряжения 0,01 кг/см^2·ч, экстраполяцией находим время $t_{ст}$ = 800 ч. Вероятно, такая точность может считаться допустимой для данной породы, поскольку за последующий год (начиная с 800 ч) величина падения напряжения составила бы в среднем 2,7% от начального напряжения σ_0. Таким же методом определены величины $t_{ст}$ для соляных пород.

Для этих же пород ранее получены экспериментальные данные по ползучести в условиях поперечного изгиба [4]. Важно отметить, что для одних и тех же пород период стабилизации процесса ползучести оказался близким к соответствующим величинам времени $t_{ст}$. Таким образом, при достижении вре-

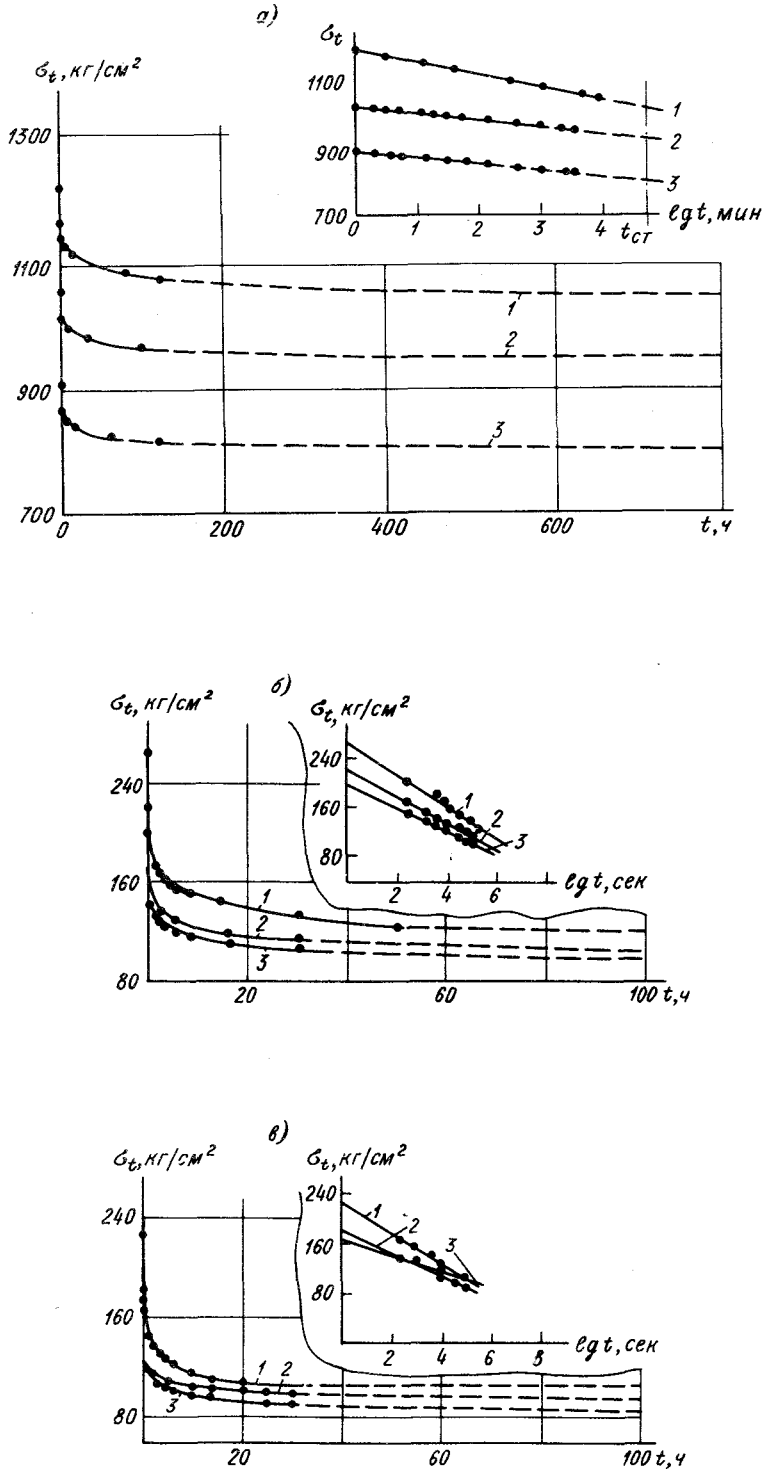


Рис. 2. Экспериментальные кривые релаксации напряжений:
а – алевропесчаника; 1 – $\sigma_0 = 0{,}8\ \sigma_{сж}$; 2 – $\sigma_0 = 0{,}7\ \sigma_{сж}$; 3 – $\sigma_0 = 0{,}6\ \sigma_{сж}$;
б – сильвинита, 1 – $\sigma_0 = 0{,}9\ \sigma_{сж}$; 2 – $\sigma_0 = 0{,}75\ \sigma_{сж}$; 3 – $\sigma_0 = 0{,}67\ \sigma_{сж}$; в –
каменной соли $К_{III}$, 1 – $\sigma_0 = 0{,}9\ \sigma_{сж}$; 2 – $\sigma_0 = 0{,}73\ \sigma_{сж}$; 3 – $\sigma_0 = 0{,}7\ \sigma_{сж}$

мени $t_{ст}$ наблюдается наибольшая деформация ползучести, поскольку речь идет о затухающей ползучести. Такой вид ее в материале возможен только при напряжениях, не превышающих предела длительной прочности $\sigma_{дл}$. Для алевропесчаника затухающая ползучесть отмечена при наибольшем напряжении $\sigma(t) = 0{,}8\sigma_{изг}$, а для соляных пород $\sigma_{(t)} = (0{,}6 \div 0{,}7)\sigma_{изг}$ ($\sigma_{изг}$ – предел кратковременной прочности при изгибе).

Построение изохорных кривых по графикам затухающей ползучести показало, что для математической интерпретации реологических процессов в рассматриваемых породах можно использовать линейно-наследственную теорию ползучести. Поведение во времени большого числа пород наиболее полно аппроксимируется двухпараметрическим абелевым ядром ползучести [2, 3 и 5]. Поэтому указанная теория и ядро ползучести использовались для определения реологических параметров по экспериментальным кривым как ползучести [4], так и релаксации. Причем параметры релаксации α и $\delta^{\alpha-1}_{(сек)}$ определены по уравнению [2, 7]

$$\sigma(t) = \sigma_0 \frac{1}{1 + \alpha t^{1-\alpha}} , \qquad (1)$$

где $\sigma(t)$ – релаксируемое напряжение, кг/см^2; σ_0 – начальное напряжение, соответствующее моменту времени $t = 0$; $\alpha = \frac{\delta}{1-\alpha}$.

Кривые релаксации обрабатывались на ЭВМ "Проминь", полученные параметры релаксации приведены в табл. 2. Качество аппроксимации экспериментальных данных контролировалось по каждому образцу вычислением погрешности Δ как разности между расчетным и опытным напряжением $\sigma(t)$ для одного и того же момента времени, причем во всех случаях Δ не превышала 5%.

Согласно теории линейно-наследственной ползучести $\sigma(t)$ через параметры релаксации может быть записано

$$\sigma(t) = \sigma_0 exp\left[- b^b \delta \Gamma_{(1-\alpha)} t^b\right] , \qquad (2)$$

где $b = 1 - \alpha$; $\Gamma_{(1-\alpha)}$ – гамма функция; t – текущее время.

В горнотехнических расчетах, как правило, требуется учет полного проявления реологических свойство пород. Поэтому предложено [5] оценивать их с помощью "реологического коэффициента"

$$\xi_р = exp\left[- b^b \delta \Gamma_{(1-\alpha)} t^b_{ст}\right] . \qquad (3)$$

Поскольку в выражение (3) введено время $t_{ст}$, реологический коэффициент практически будет отражать максимальное проявление свойств ползучести. С другой стороны, величина $\xi_р$, по-видимому, будет характеризовать интенсивность проявления свойств ползучести данного материала.

Значения $\xi_р$ для изучавшихся пород приведены в табл. 2. Сравнивая их со значениями соответствующих реологических коэффициентов $\xi_п$, можно отметить, что в случае релаксации при сжатии для трех изученных пород $\xi_р$ в среднем на 14÷34% больше $\xi_п$, полученных ранее при изучении ползучести в условиях изгиба при таком же уровне напряжений. Основными причинами расхождения, очевидно, являются: различное направление поля напряжений по отношению к внешней нагрузке, значительное отличие напряженного состояния в приторцевых частях сжимаемого образца по сравнению с однородным.

Литература

1. Бурчаков Ю.И. и др. Реологические свойства горных пород глубоких шахт Донбасса. – В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной межвузовской научной конференции. МГИ, 1967.

2. Ержанов Ж.С. Теория ползучести горных пород и ее приложения. Алма-Ата, "Наука", 1964.

3. Ержанов Ж.С., Гуменюк Г.Н. Закономерности деформаций ползучести карагандинских горных пород при изгибе. – В кн.: Вопросы механики горных пород. Алма-Ата, "Наука", 1967.

4. Кузнецов Ю.Ф. Исследование ползучести некоторых пород. Зап. ЛГИ, т. 57, вып. 1, 1969.

5. Кузнецов Ю.Ф. Методика и результаты исследований реологических свойств твердых горных пород применительно к некоторым вопросам устойчивости горных выработок. Автореф. канд. диссерт. Ленингр. горн. ин-т, 1970.

6. Парчевский Л.Я. Изгиб плиты и напряженное состояние основания во времени. – В кн.: Разработка месторождений полезных ископаемых. М., "Недра", 1965.

7. Парчевский Л.Я. Анализ смещений кровли в лавах угольных пластов с учетом ее ползучести. – В кн.: Исследование по механике горных пород, Алма-Ата, "Наука", 1965.