

## Лабораторная работа

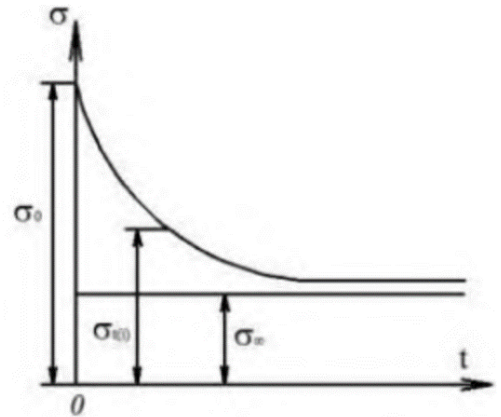
### Определение реологических свойств горных пород

Основными реологическими явлениями являются *ползучесть и релаксация напряжений* в материале (горной породе). В результате этих явлений может существенно снижаться прочность горных пород (материалов).

Явление, обратное ползучести, называется релаксацией напряжений. Оно характеризуется постепенным снижением напряжений в породе (материале) при постоянной ее деформации.

Период релаксации большинства горных пород очень велик (100–1000 лет). Поэтому на практике для характеристики реологических свойств пород при меньшей длительности нагружения часто используют относительный показатель падения напряжений в породе  $R'$  (%) за определенный период  $t$ .

$$R' = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_0} 100\%,$$



Кривая релаксации напряжений в горных породах

где:  $\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma_i$ ;  $\sigma_0$  - исходная прочность (первоначальная или мгновенная);  $\sigma_i$  - длительная прочность.

Длительная прочность стабилизируется при заданной нагрузке и асимптотически приближается к некоторой постоянной величине, называемой *пределом длительной прочности* и обозначается  $\sigma_\infty$

По данным экспериментов для очень прочных, преимущественно магматических пород:

$$\frac{\sigma_{\infty \text{ сж}}}{\sigma_{0 \text{ сж}}} \approx 0,9 - 0,95$$

– для пород средней прочности;

$$\frac{\sigma_{\infty \text{ сж}}}{\sigma_{0 \text{ сж}}} \approx 0,6 - 0,8$$

– для пород слабых и очень слабых.

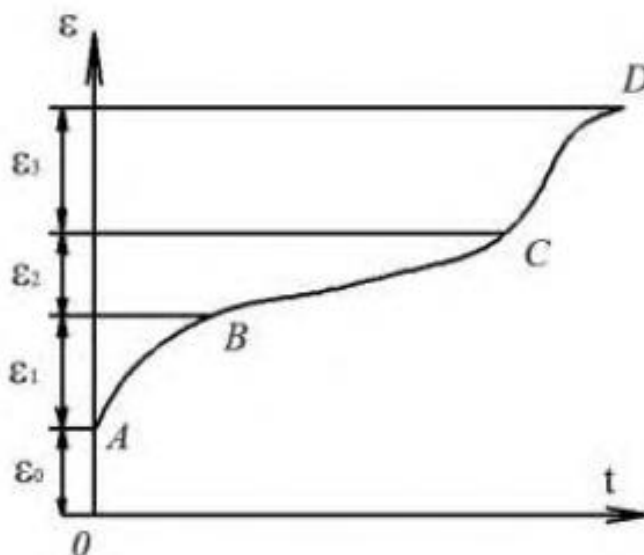
$$\frac{\sigma_{\infty \text{ сж}}}{\sigma_{0 \text{ сж}}} \approx 0,1 - 0,4$$

Методы определения пластических и реологических свойств горных пород заключаются в нагружении их под прессом с различной нагрузкой и измерении деформаций с помощью индикаторов часового типа, датчиков различных конструкций, фиксации изменения напряжений в них с течением времени. Реже данные свойства горных пород определяют непосредственно в натуральных условиях.

Под **ползучестью** понимают постепенный рост деформации породы во времени при постоянном напряжении. На рисунке представлена типичная кривая ползучести горных пород.

**Релаксацией** называется постепенное снижение напряжений в породе во времени при постоянной ее деформации.

**Длительная прочность** – это прочность, которую сохраняет порода через тот или иной промежуток времени действия на нее нагрузки, т.е. это прочность, которая соответствует той или иной длительности воздействия нагрузки. Длительная прочность породы с увеличением времени действия нагрузки снижается по определенной кривой, асимптотически приближаясь к некоторому предельному значению, называемому **пределом длительной прочности  $\sigma_{\infty}$** .



Участок ОА на рисунке соответствует начальной условно-мгновенной деформации. В зависимости от величины приложенного напряжения она может быть, как упругой, так и частично пластической, т.е. необратимой, обусловленной сдвижением частиц, и переориентацией, частичным нарушением жестких связей.

Участок АВ соответствует стадии неустановившейся или затухающей ползучести. Скорость ползучести на данном участке переменная, она постепенно уменьшается до некоторого постоянного значения. Для ползучести породы в этой стадии также характерны как упругая, так и необратимая деформации.

Участок ВС соответствует стадии установившейся ползучести или ползучести с постоянной скоростью. Эта стадия характеризуется разрушением структурных связей, и поэтому деформации при разгрузке не восстанавливаются.

Участок СД характеризуется увеличением скорости деформирования, что связано с интенсификацией процесса разрушения, появлением трещин и, наконец, полным разрушением. Этот участок соответствует стадии прогрессирующего течения. Полная деформация ползучести горной породы равна

$$\varepsilon_n = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3.$$

Процесс снижения напряжений в горных породах, в особенности в прочных и очень прочных, весьма длителен. Время, в течение которого напряжения в теле убывают в  $e$  раз ( $e = 2,72$  – основание натурального логарифма), называется *периодом релаксации*. Период релаксации большинства пород очень велик. Поэтому на практике для характеристики релаксации часто используют относительный показатель падения напряжения в породе  $R$  за определенный период

$$R = \frac{\sigma_0 - \sigma_t}{\sigma_0} 100\%,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение в испытуемом образце в момент приложения нагрузки;

$\sigma_t$  – напряжение в образце по истечении определенного промежутка времени действия нагрузки, т.е. длительная прочность.

Период релаксации исследуемого массива:

$$П = \frac{n_{\text{сут}}(\sigma_0 - \frac{\sigma_0}{l})}{\sigma_0 - \sigma_t},$$

где  $n_{\text{сут}}$  – продолжительность испытания образца под нагрузкой, сут;

$\sigma_0$  – нагрузка, действующая на образец в начале испытания, Па;

$\sigma_t$  – нагрузка, действующая на образец в конце испытания, Па.

### Пример решения задачи.

Для определения реологических свойств пород, в которых собираются проводить полевой штрек, из массива произвели отбор керна цилиндрической формы. Из керна сделали образец диаметром 5,2 см, высотой 7,4 см. По исходным данным объемного веса пород, лежащих над штреком и глубины залегания штрека давление на 1 м<sup>2</sup> площади выработки составило 238 тонн. Известно, что за время испытания образца (15 дней) напряжение в образце

снизилось на 0,4 МПа. Определить период релаксации и относительный показатель падения напряжения образца.

Решение

1. Определяем нагрузку на образец в начале испытания.

$$S_{\text{образца}} = \frac{\pi d^2}{4},$$
$$S_{\text{образца}} = \frac{3,14 \cdot 0,052^2}{4} = 0,021 \text{ м}^2;$$
$$1 \text{ м}^2 - 238 \text{ т};$$
$$0,021 \text{ м}^2 - F_0 \text{ т};$$
$$F_0 = 0,021 \cdot 238 = 4,9 \text{ т}.$$

2. Определяем напряжение в образце в начале испытания по формуле

$$\sigma_0 = \frac{F_0}{S},$$

где  $F_0$  – нагрузка заданная на образец в начале испытания образца, Н.

$$\sigma_0 = \frac{49000}{0,021} = 2,3 \text{ МПа}$$

3. Определяем напряжение в образце в конце испытания образца

$$\sigma_t = \sigma_0 - \Delta\sigma,$$

где  $\Delta\sigma$  – падение напряжения за период испытания образца, Па.

$$\sigma_t = 2,3 - 0,4 = 1,9 \text{ МПа}$$

4. Определяем относительный показатель падения напряжения в образце за время его испытания по формуле

$$R = \frac{\sigma_0 - \sigma_t}{\sigma_0} 100\% ;$$
$$R = \frac{2,3 - 1,9}{2,3} \cdot 100\% = 0,2\%.$$

5. Определяем период релаксации исследуемого массива пород по формуле

$$\Pi = \frac{n_{\text{сут}}(\sigma_0 - \frac{\sigma_0}{l})}{\sigma_0 - \sigma_t};$$

$$\Pi = \frac{15 \cdot (2,3 - \frac{2,3}{2,72})}{2,3 - 1,9} = 54,4 \text{ сут.}$$

Исходные данные вариантов к задаче

№ варианта	Размеры образца		Давление на выработку, т/м <sup>2</sup>	Продолжительность испытания, дни	Снижение давления на образец во время его испытания, МПа
	Диаметр, см	Высота, см			
1	5,1	7,3	240	15	0,2
2	5,0	7,0	251	20	0,3
3	5,2	7,4	245	10	0,4
4	4,7	7,5	200	21	0,3
5	7,0	8,1	210	25	0,5
6	7,1	8,5	190	26	0,1
7	7,2	8,9	199	13	0,6
8	6,0	7,4	206	10	0,3
9	6,1	7,8	215	18	0,2
10	6,2	8,0	220	19	0,4
11	5,3	6,5	197	22	0,5
12	5,4	6,9	231	13	0,3
13	5,0	6,1	246	14	0,6
14	5,5	6,4	206	17	0,1
15	5,6	7,3	222	23	0,2
16	5,4	7,8	231	24	0,4
17	6,0	8,5	252	27	0,5
18	6,3	8,9	212	12	0,3
19	6,5	9,0	235	16	0,4
20	6,4	9,1	200	17	0,2