УДК 622.831.32

М.Д.ИЛЬИНОВ, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Ilinov_md@spmi.ru*
Ю.М.КАРТАШОВ, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Ilinov_md@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

M.D.ILYINOV, *PhD in eng. sc., senior research assistant, Ilinov_md@spmi.ru*
Yu.M.KARTASHOV, *Dr. in eng. sc., chief research assistant, Ilinov_md@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Проведены реологические испытания образцов горных пород прямым (классическим) и ускоренным (ступенчатым) методами. При ступенчатом испытании одного образца получено семейство кривых ползучести. Сопоставительные испытания показали удовлетворительную сходимость результатов испытаний различными методами.

Ключевые слова: реология, ползучесть, ускоренные методы испытаний, ступенчатое приложение нагрузок к образцу горной породы, семейство кривых ползучести.

QIUCK-ACTING TECHNIQUE FOR THE DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ROCKS

The Article considers the rheological tests of rock samples being carried out with using the direct (classical) and quick-acting (stepwise) techniques. In the stepwise test of one sample a family of creeping curves was obtained. The comparable tests have shown a satisfactory similarity of test results obtained in various testing techniques.

Key words: rheology, creeping, quick-acting testing techniques, stepwise load applying to rock samples, a family of creeping curves.

Горно-технические задачи, связанные с проявлениями ползучести, релаксации и длительной прочности, могут быть решены только с учетом реологических свойств горных пород.

Определение реологических свойств горных пород классическим методом связано с большими затратами труда и времени. При испытаниях применяется сложная и громоздкая аппаратура для поддержания постоянного давления (или постоянной деформации) и для регистрации деформаций образцов (или снижения давления) в течение длительного времени [2, 3]. Детальное изучение реологических свойств пород может проводиться только крупными специализированными лабораториями, имеющими необходимое оборудование и аппаратуру. Разработка ускоренных или упрощенных методов реологических испытаний позволит сократить длительность и снизить трудоемкость испытаний.

Анализ ускоренных методов определения реологических свойств горных пород приведен в работе [2]. Оригинальный ускоренный метод был предложен профессором Г.Н.Кузнецовым [1]. Метод основан на ступенчатом приложении нагрузок к образцу, с выдержкой каждой ступени нагрузки в течении определенного времени. Г.Н.Кузнецов отметил принципиальную возможность получения семейства кривых ползучести при ступенчатом испытании одного образца. Он высказал предположение, что со значительной степенью приближения может быть установлена аналогия принципу наложения действия сил в отношении пластической деформации образца во времени.

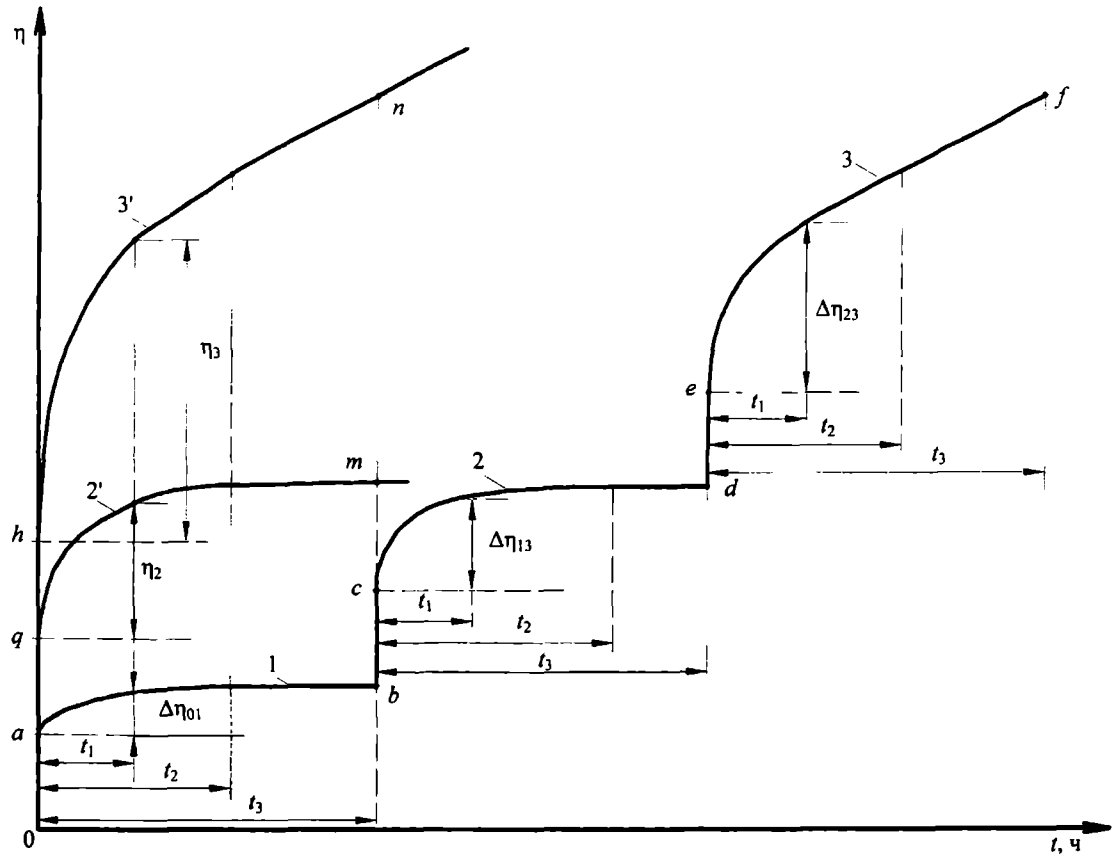


Рис.1. Деформации ползучести при ступенчатом повышении нагрузки

Предложенный метод иллюстрируется рис.1:

• кривая 1 – испытание образца на первой ступени нагрузки, равной σ^{I} (*oa* – мгновенная деформация образца при нагрузке; *ав* – деформация ползучести);

• кривая 2 – испытание образца на второй ступени нагрузки, равной $\sigma^{II} > \sigma^{I}$ (*bc* – мгновенная деформация образца при нагрузке; *cd* – деформация ползучести);

• кривая 3 – испытание образца на третьей ступени нагрузки, равной $\sigma^{III} > \sigma^{II}$ (*de* – мгновенная деформация образца при нагрузке; *ef* – деформация ползучести);

• η – деформация образца; *t* – время испытаний;

• приращение нагрузки на второй ступени нагружения $\Delta\sigma_{1,2} = \sigma^{II} - \sigma$;

• приращение нагрузки на третьей ступени нагружения $\Delta\sigma_{2,3} = \sigma^{III} - \sigma^{II}$

Длительность испытания на каждой ступени нагрузки определяется экспериментально и зависит от характера деформирования образца породы во времени (установление постоянной скорости деформирования в течение 10-20 ч).

Построение семейства кривых ползучести на основании результатов испытаний одного образца породы при ступенчатом нагружении производится следующим образом (рис.1).

Кривая 2^{I} – расчетная кривая деформирования образца породы во времени при нагружении усилием, равным σ^{II} ($oq = oa + bc$ – мгновенная деформация образца при нагружении; *qm* – деформация ползучести). Точки на расчетной кривой ползучести определяются из кривых 1 и 2, при одном и том же времени деформирования (t_1, t_2, t_3 и т.д.). Например, $\eta_2 = \Delta\eta_{01} + \Delta\eta_{12}$ при времени деформирования t_1.

Для кривой 3^{I}: $\eta_3 = \Delta\eta_{01} + \Delta\eta_{12} + \Delta\eta_{23}$ при времени деформирования t_1; $oh = oa + bc + de$.

Аналогично определяются точки на расчетных кривых ползучести 2^1 и 3^1 при другом времени деформирования (t_2, t_3 и т.д.).

Для экспериментальной проверки рассматриваемого метода испытаний авторами выбрана каменная соль с пределом прочности при одноосном сжатии $\sigma_c = 26{,}3$ МПа. Выбор каменной соли был обусловлен, во-первых, относительно высокими значениями продольных деформаций ползучести при небольшом времени испытаний и, во-вторых, небольшим разбросом показателей прочности при одноосном сжатии (коэффициент вариации $\upsilon = 14{,}8$ %).

Испытания (классический метод) были проведены на установке ползучести УП2 [2]. Образцы испытывались при нагрузках, составляющих 0,3; 0,5; 0,7 от предела прочности при одноосном сжатии. Длительность испытаний составляла 7 сут. Продольные деформации образцов измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм. Результаты испытаний представлены на рис.2 (деформации ползучести представлены сплошными линиями).

Ступенчатые испытания одного образца проводились также на установке УП2 по схеме, представленной на рис.1. Образец испытывался при трех ступенях нагрузки:

• первая ступень: $\sigma^{I} = 0{,}3\ \sigma_c$; $t_3 = 168$ ч;

• вторая ступень: $\sigma^{II} = 0{,}5\ \sigma_c$; $t_3 = 168$ ч; $\Delta\sigma_{1,2} = \sigma^{II} - \sigma^{I} = 0{,}2\sigma_c$;

• третья ступень: $\sigma^{III} = 0{,}7\ \sigma_c$; $t_3 = 168$ ч; $\Delta\sigma_{2,3} = \sigma^{III} - \sigma^{II} = 0{,}2\sigma_c$.

По результатам ступенчатых испытаний одного образца были построены расчетные кривые ползучести, соответствующие нагружению 0,3; 0,5 и 0,7 от σ_c, по изложенной методике.

Расчетные кривые ползучести представлены на рис.2 (пунктирные линии).

Разница между результатами прямых и ускоренных испытаний образцов пород не превышает 14-16 %.

Сопоставительные испытания показали удовлетворительную сходимость результатов испытаний. Предложенным ускоренным методом испытаний целесообразно пользоваться при ограниченных количествах породного материала, недостатке испытательного оборудования, а также при большом разбросе показателей прочности испытываемой породы, когда нельзя с достаточной надежностью определить величину ступени нагрузки (при классических испытаниях). В последнем случае ступенчатое испытание одного образца оказывается единственно возможным, а величину ступени нагрузки оценивают экспериментально.

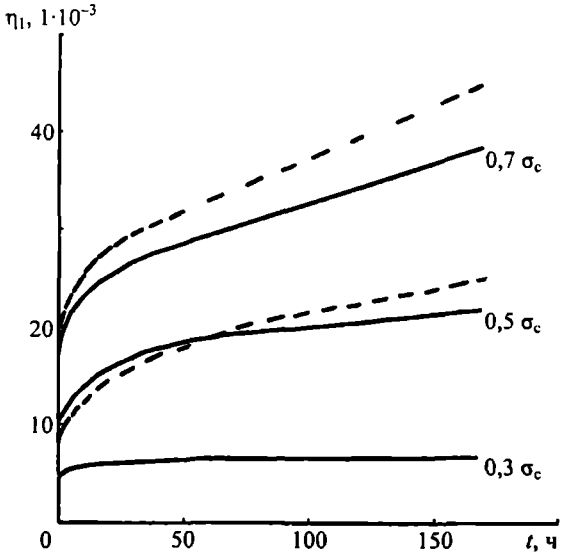


Рис.2. Сопоставление результатов прямых и ускоренных испытаний горных пород

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецов Г.Н.* Механические свойства горных пород. М.: Углетехиздат, 1947. 180 с.

2. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М.Карташов, Б.В.Матвеев, Г.В.Михеев и др. / М.: Недра, 1979. 482 с.

3. *Ставрогин А.Н.* Экспериментальная физика и механика горных пород / А.Н.Ставрогин, Б.Г.Тарасов. СПб: Наука, 2001. 344 с.

REFERENCES

1. *Kuznetsov G.N.* Mechanical properties of rocks. Moscow: Ugletechizdat, 1947. 180 p.

2. Strength and deformation of rocks / Yu.M.Kartashov, B.V.Matveev, G.V.Mikheev et al. Moscow: Nedra, 1979. 482 p.

3. *Stavrogin A.N., Tarasov B.G.* Experimental physics and rock mechanics. Saint Petersburg: Nauka, 2001. 344 p.