

УДК 622.831

ПОЛЗУЧЕСТЬ ОСАДОЧНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

© 2011 г.

В.М. Пестренин, И.В. Пестренина

Пермский госуниверситет

PestreninVM@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

На основе полученных опытных данных предлагается модель описания поведения осадочных пород при одноосном сжатии в условиях активного нагружения и разгрузки. Строится девятипараметрическая аппроксимация материальных функций, отвечающих конкретному породному массиву. На основе предложенной модели показывается соответствие решений задач о нагружении породного массива с опытными данными.

Ключевые слова: соляные породы, ползучесть, эксперимент, физические уравнения.

Испытания осадочного породного массива на ползучесть, как правило, проводятся при постоянной нагрузке. При этом допускается, что приложение нагрузки к образцу реализуется мгновенно. При мгновенном приложении нагрузки скорость ползучести должна быть бесконечной [1], что невозможно. Кроме того, испытания на ползучесть ограничиваются в большинстве случаев изучением лишь стадии активного нагружения образцов. Построенные на базе таких опытов физические уравнения не позволяют адекватно оценивать поведение во времени подземных сооружений в породном массиве, испытывающем как активное нагружение, так и разгрузку. Отмеченные особенности испытаний на ползучесть преодолеваются в настоящем исследовании, где ползучесть образцов осадочных пород и при активном нагружении, и при разгрузке изучается в опытах при заданном законе нагружения, что обеспечивает отсутствие какой-либо ошибки, связанной с мгновенным приложением нагрузки, в определении деформаций на начальном участке нагружения, а также позволяет обнаружить новые механические свойства соляных пород.

Испытанию подвергаются образцы каменной соли и сильвинита с отношением высоты к поперечному размеру, равным двум. База для измере-

ния деформаций выбирается в средней части образца и не превышает трети его длины, что исключает влияние особенностей приложения торцевой нагрузки на реализацию однородного напряженного состояния в области базы [2].

Полные малые деформации, возникающие в образце, представляются суммой упругих, возвратных и вязкопластических составляющих. Предлагается процедура определения составляющих полной деформации. Опыты проводятся на установке ZWICK по программе: 1) нагружение с постоянной скоростью v до достижения напряжениями заданного значения σ_0 ; 2) выдержка в течение времени T при напряжении σ_0 ; 3) разгрузка со скоростью v ; 4) «отдых» до полного исчезновения в образце возвратных деформаций. При необходимости процесс испытаний повторяется.

В табл. 1 приводятся типичные данные для образца каменной соли, подвергнутого трехкратному испытанию. Данные, приведенные в таблице, показывают, что основную часть полных деформаций образца составляют вязкопластические деформации; при повторном нагружении образца все составляющие деформации, отсчитываемые от его состояния, установившегося в предшествующем опыте, оказываются соизмеримыми по величине при условии, что максимальное на-

Таблица 1

Полные ϵ , упругие ϵ_e , пластические ϵ_p и возвратные ϵ_v деформации образца в трех последовательных опытах

Дата	ΔL	ϵ	ϵ_e	ϵ_p	$\epsilon_p/\epsilon \cdot 100\%$	ϵ_v	$\epsilon_p/\epsilon \cdot 100\%$
10.08.2010	0.375	0.00455	0.00035	0.00375	82.32	0.0005	9.98
07.09.2010	0.050	0.00497	0.00035	0.00425	85.43	0.0004	7.52
29.09.2010	0.40	0.00536	0.00035	0.00465	86.77	0.0004	6.69

пряжение в новом опыте не превышает напряжени предшествующего испытания; механические свойства образца в процессе нагружения определяются накопленными пластическими деформациями.

На рис. 1 приводятся деформации ползучести образцов каменной соли, отвечающие различным скоростям нагружения: кривая 1 – для $v = 0.01$ МПа/с; кривая 2 – $v = 0,05$ МПа/с; кривая 3 – $v = 0.25$ МПа/с. Деформации отсчитываются от момента времени, в который напряжения достигают значения σ_0 .

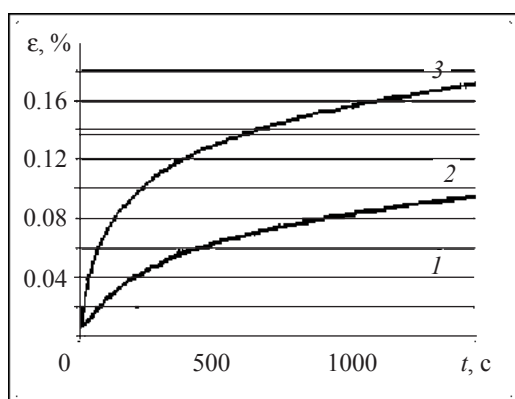
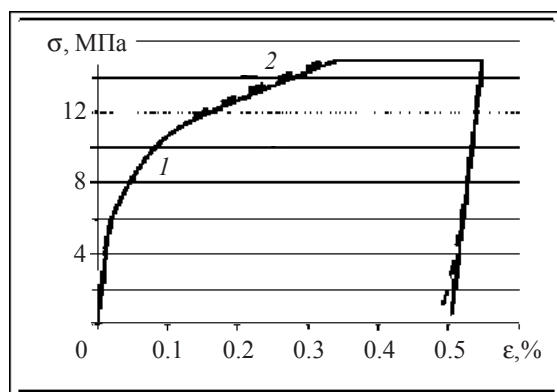


Рис. 1



а)

– функция напряжений.

Уравнение (1) обладает необходимым свойством инвариантности относительно изменения начала отсчета времени. Функции $P(\epsilon_p)$ и $\Phi(\sigma)$ задаются с точностью до материальных параметров, которые определяются из опыта на ползучесть.

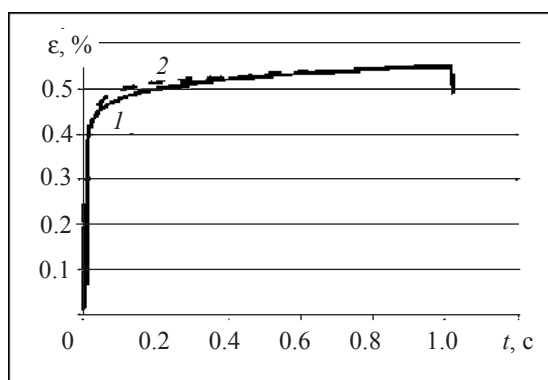
Для примера рассматривается образец каменной соли, подвергнутый испытанию по описанной ранее программе с параметрами: $v = 0.05$ МПа/с; $\sigma_0 = 15$ МПа; $T = 3600$ с. Функции $P(\epsilon_p)$ и $\Phi(\sigma)$ выбираются так:

$$P(\epsilon_p) = a + b(\epsilon_p + f)^{-\alpha} + c(\epsilon_p + d)^{-\beta}, \quad (2)$$

$$\Phi(\sigma) = \sigma^\kappa,$$

материальные параметры E , a , b , f , c , d , α , β , κ находятся посредством минимизации среднеквадратического отклонения деформаций, определяемых равенством (1), от деформаций, измеренных в опыте. Погрешность аппроксимации оценивалась по величине среднеквадратического отклонения и равнялась 3.4%.

На рис. 2 представлено сравнение результатов аппроксимации (кривые 1) с опытными данными (кривые 2): а – плоскость σ – ϵ , б – плоскость ϵ – t , t – безразмерное время.



б)

Рис. 2

Видно, что допущение о мгновенности прикладываемой нагрузки приводит к занижению деформаций ползучести.

На основе сказанного физические уравнения соляного образца при одноосном сжатии предлагается строить в виде

$$\dot{\epsilon} = \dot{\sigma} / E + P(\epsilon_p) \Phi(\sigma), \quad (1)$$

где $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации, $\dot{\sigma}$ – скорость изменения напряжений, E – приведенный модуль Юнга; $P(\epsilon_p)$ – функция накопленных пластических деформаций, характеризующая изменение свойств породного массива при нагружении; $\Phi(\sigma)$

Приводятся согласующиеся с опытными данными примеры решения задач с использованием уравнения (1) о нагружении соляных образцов.

Работа выполнена в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала Высшей школы (2009–2011)».

Список литературы

1. Ильющин А.А., Победра Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: Наука, 1970.
2. Пестренин В.М., Пестренина И.В., Мерзляков А.Ф. О неоднородности напряженного состояния образцов в опытах на сжатие // Изв. вузов. Горный журнал. 2008. №4. С. 66–69.

CREEP OF ROCK SALT UNDER MONOAXIAL COMPRESSION*V.M. Pestrenin, I.V. Pestrenina*

Creep of rock salt samples in the conditions of active loading and unloading is studied in the experiments with a predetermined loading rule. A nine-parametrical approximation of material functions for the concrete rock salt is suggested. The problem of loading of rock salt samples is analyzed using this model; the solution shows good agreement with the corresponding experimental data.

Keywords: rock salt, creep, experiment, constitutive equations.