

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОЛЯНЫХ ПОРОД В ШАХТНЫХ УСЛОВИЯХ

*К.т.н. Барышников В.Д., к.т.н. Болтенгаген И.Л., инж. Титов Д.А.*

*Институт горного дела СО РАН, Россия, Новосибирск*

Актуальность задачи оценки механических свойств горных пород связана с обеспечением безопасности горных работ при подземной разработке кимберлитовых трубок Якутии. Вертикальные рудные тела находятся в осадочной толще переслаивающихся соляных пород, обладающих ярко выраженными реологическими свойствами. Ползучесть и релаксация горных пород описываются с помощью абелевого степенного ядра  $L(t, \tau) = \delta (t-\tau)^{-\alpha}$  теории линейной наследственности Больцмана. Учет деформаций ползучести в геомеханических задачах с неизменными граничными условиями сводится к замене модуля упругости  $E$ , коэффициента Пуассона  $\nu$  и модуля сдвига  $G$  в упругом решении функциями времени [1]

$$E_t = \frac{E}{1 + \frac{\delta t^{1-\alpha}}{1-\alpha}}, \quad \nu_t = \frac{1}{2} - \frac{1-2\nu}{2} \frac{1}{1 + \frac{\delta t^{1-\alpha}}{1-\alpha}}, \quad G_t = G \frac{1}{1 + \frac{3}{2(1+\nu)} \frac{\delta t^{1-\alpha}}{1-\alpha}},$$

Значения параметров реологической модели  $\alpha$  и  $\delta$ , как правило, определяются в лабораторных опытах на одноосное сжатие образцов при фиксированной нагрузке. Параметры  $\alpha$  и  $\delta$  являются не физическими постоянными, а аппроксимирующими параметрами кривых ползучести: существует множество пар  $(\alpha, \delta)$ , удовлетворительно описывающих результаты экспериментов. На образцах каменной соли уральских месторождений наилучшая аппроксимация опытных данных при различных уровнях нагружения получена вычислением для каждой кривой ползучести величины  $\delta$ , соответствующей параметру  $\alpha$ , равному 0.6 [2]. Для соляных вмещающих пород Якутии при испытании образцов керна установлено:  $\alpha = 0.7$  и  $\delta = 0.003 \text{ с}^{\alpha-1}$  [3]. Оценка реологических свойств пород в естественных условиях обеспечивает более адекватное построение геомеханических моделей горнотехнических объектов.

На руднике «Интернациональный» выполнялись эксперименты для определения напряжений методом щелевой разгрузки [4] на контуре вертикальной выработки кругового поперечного сечения диаметром 3 м. На поверхности выработки устанавливались два репера, и фиксировалось их расстояние друг от друга (база измерения). Затем между ними создавалась прорезь и измерялось относительное смещение реперов при частичной разгрузке поверхности. Прорези делались в форме сегмента с помощью камнерезной пилы алмазным диском диаметром 300 мм. По смещению реперов рассчитывают компоненту напряжений  $\sigma$ , перпендикулярную плоскости щели. На основании обработки результатов 11 экспериментов, выполненных на глубине от поверхности – около 800 м, сделан вывод о гидростатическом начальном напряженном состоянии вмещающих пород.

В одном из экспериментов с горизонтальной щелью длиной 230 мм и максимальной глубиной  $d = 51$  мм (база измерения  $b = 60$  мм) зафиксировано смещение реперов  $\Delta - 75$  мкм. Через 185 минут смещение  $\Delta_t$  увеличилось на 30 мкм. Для интерпретации экспериментальных данных использовалась следующая формула для смещения реперов, полученная из решения академика Седова задачи о плоском разрезе с внутренним давлением [4,5]

$$\Delta_t = \frac{\sigma(1 + \nu_t)}{E_t} \frac{2d}{\sqrt{(b/2d)^2 + 1} + b/2d} \left( 2(1 - \nu_t) + \frac{b/2d}{\sqrt{(b/2d)^2 + 1}} \right),$$

где  $\sigma$  – нормальная компонента напряжения, ортогональная плоскости щели.

Из решения уравнения 
$$\frac{\Delta_t}{\Delta} = \frac{E}{E_t} \frac{(1 + \nu_t)}{(1 + \nu)} \frac{2(1 - \nu_t) + \frac{b/2d}{\sqrt{(b/2d)^2 + 1}}}{2(1 - \nu) + \frac{b/2d}{\sqrt{(b/2d)^2 + 1}}} \frac{2d}{2d}$$

получены следующие оценки реологических параметров:  $\alpha=0.7$ ,  $\delta=0.008 \text{ с}^{\alpha-1}$  и  $\alpha=0.6$ ,  $\delta=0.004 \text{ с}^{\alpha-1}$ . Коэффициент Пуассона пород принимался равным 0.25.

## Вывод

Предложенный способ позволяет оперативно оценивать реологические параметры пород в естественных условиях. При увеличении интервалов между последовательными измерениями смещений реперов полученные механические свойства могут быть использованы для прогнозных расчетов деформаций ползучести в течение более длительного времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. –М.: Недра, 1989.
2. Барях А.А., Константинова С.А., Асанов В.А. Деформирование соляных пород. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996.
3. Пирля К.В., Попов С.Н., Крамсков Н.П. Прогнозная оценка деформаций вмещающего массива при подземной отработке запасов алмазоносной трубки «Интернациональная» под водоносным горизонтом ФТПРПИ, №4, 1996.
4. Барышников В.Д., Болтенгаген И.Л., Коврижных А.М. Определение напряжений методом щелевой разгрузки // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2004
5. Седов Л.И. Механика сплошной среды, т.2. –М.: Наука, 1973.