## **Реология соляного массива со сферической полостью**

Языев С.Б., Языев Б.М, Литвинов С.В.

Данная задача связана с технологической проблемой создания полостей с помощью камуфлетных взрывов, при которых температура внутри полости существенно превышает начальную температуру массива. Часто такие полости создаются в массиве каменной соли [1]. Поскольку в каменной соли даже при небольших нагрузках проявляются явно выраженные реологические свойства, представляет интерес решение задачи о ползучести соляного массива с полостью при действии как силовых (давление внутри полости и давление грунта), так и температурных нагрузок [2]. При этом возможен не только нагрев, но и охлаждение массива.

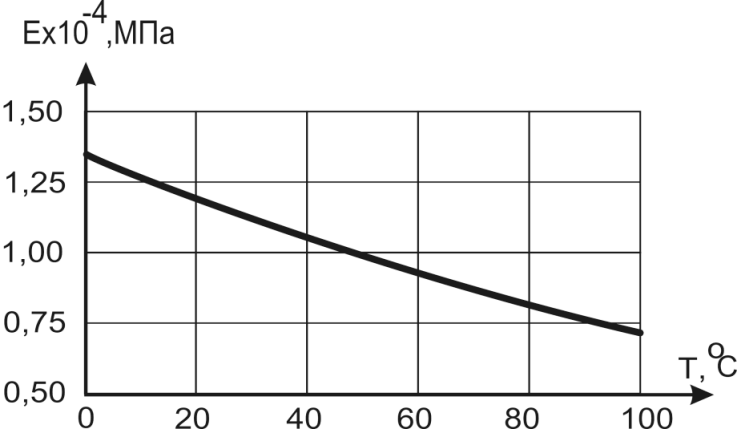


Рис. 1. ̶ Зависимость модуля упругости каменной соли от температуры

Согласно рекомендациям [2] величину следует определять в точке диаграммы, соответствующей , где – призменная прочность. На рис.1 приведены экспериментальные точки зависимости модуля упругости каменной соли от температуры, полученные в интервале и аппроксимирующая кривая .

Для описания процесса ползучести каменной соли при повышенных температурах можно использовать приведенную в [2] зависимость, имеющую при одноосном нагружении вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где – энергия активации ползучести; – газовая постоянная; – температура; ; , и – эмпирические коэффициенты. На основании проведенных экспериментальных исследований ползучести в интервале в [4] получены следующие значения параметров соотношения (1):

При сложном напряженном состоянии для скоростей деформаций ползучести с учетом (1) получим

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

где – интенсивность напряжений.

Граничные и начальные условия задачи представляются в виде:

Здесь – возможное внутреннее давление в полости, – давление отпора среды в предположении .

Ниже приводятся результаты расчета, полученные методом «послойного» интегрирования с переменным шагом по времени и радиусу при следующих исходных данных: ; ; ; ; ; .

На рис. 2 показаны эпюры напряжений для различных моментов времени. Следует отметить, что в процессе ползучести напряжения вблизи контура полости существенно снижаются, а по мере удаления от полости возрастают, что связано с необходимостью выполнения интегрального уравнения равновесия

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

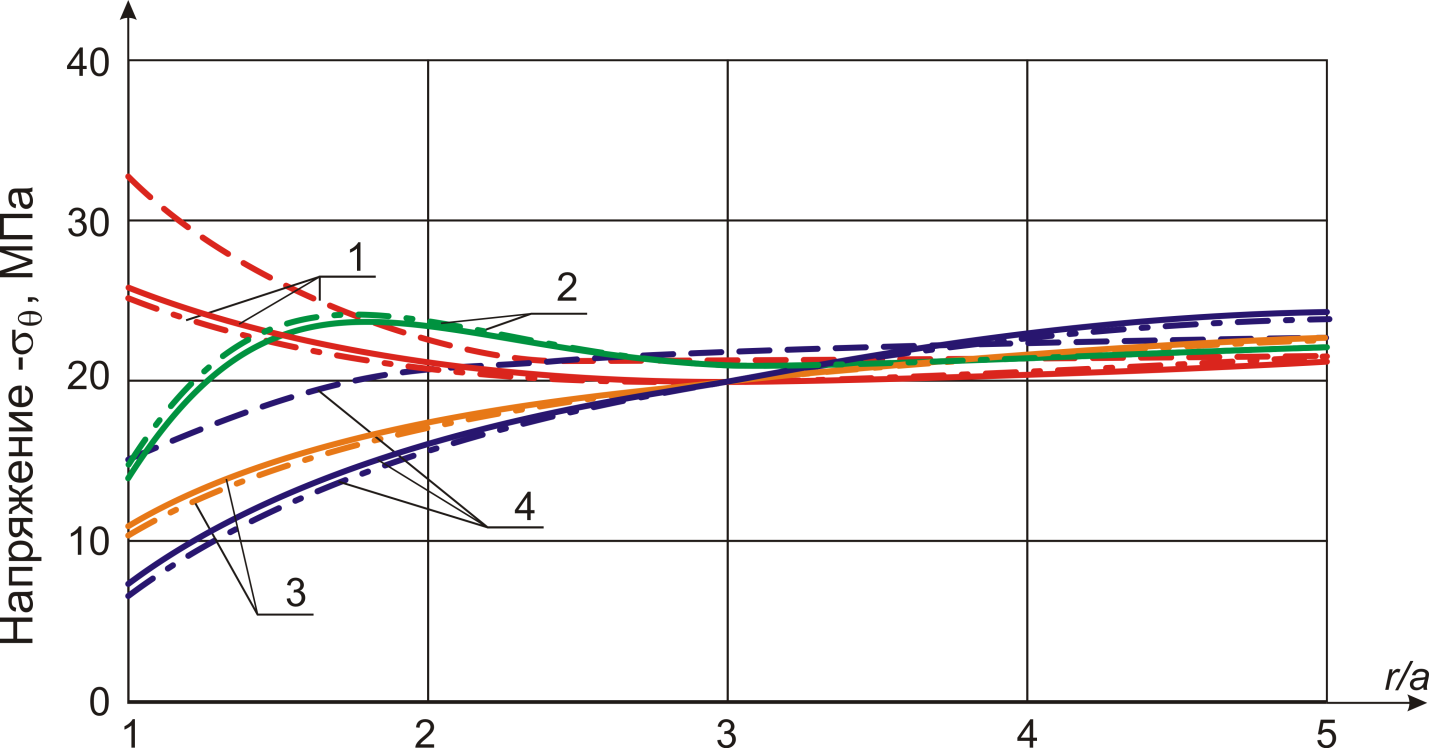
Последняя формула может быть получена из рассмотрения элемента массива со сферической полостью (рис. 4). Составим проекцию всех сил, действующих на данный элемент, на ось . Интеграл от напряжений

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Проекцию на ось интегрального усилия от давления можно определить по формуле

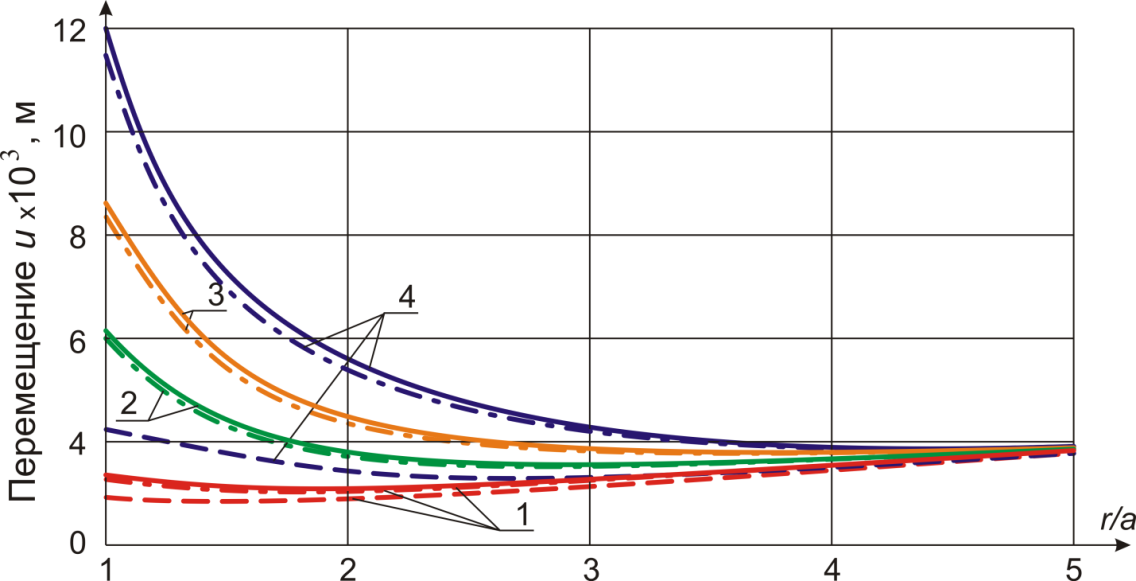
|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Вычисляя последний интеграл, суммируя выражения (4) и (5) и сокращая все на , приходим к равенству (3). При этом следует обратить внимание на то, что заметный рост напряжений в процессе ползучести вблизи внешнего контура вырезанного массива (см. рис.2) обусловлен рассмотрением приближенной модели, т.е. конечным значением (в расчете принималось ). В действительности же при влияние отверстия и неоднородности не должно сказываться на значениях напряжений на большом расстоянии от отверстия.



|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 2. | Перераспределение во времени напряжений в массиве со сферической полостью:  однородный массив ();  неоднородный массив (, );  неоднородный массив (, ), решение, приводимое в [10];  1 – (упругое решение); 2 – ч; 3 – ч; 4 – ч |

На рис.3 приведены эпюры перемещений в массиве с полостью для некоторых моментов времени. При этом фактические перемещения следует отсчитывать от прямой (показана штрих-пунктиром), соответствующей сжатию упругого массива без полости.



|  |  |
| --- | --- |
| Рис. 3. | Перемещения в массиве со сферической полостью:  однородный массив ();  неоднородный массив (, );  неоднородный массив (, ), решение, приводимое в [10];  1 – (упругое решение); 2 – ч; 3 – ч; 4 – ч |

При ползучести так же, как и в теории пластичности, принимается гипотеза о несжимаемости материала, в связи, с чем дальнейшее сокращение объема сплошного массива по сравнению со стадией упругой работы не происходит.

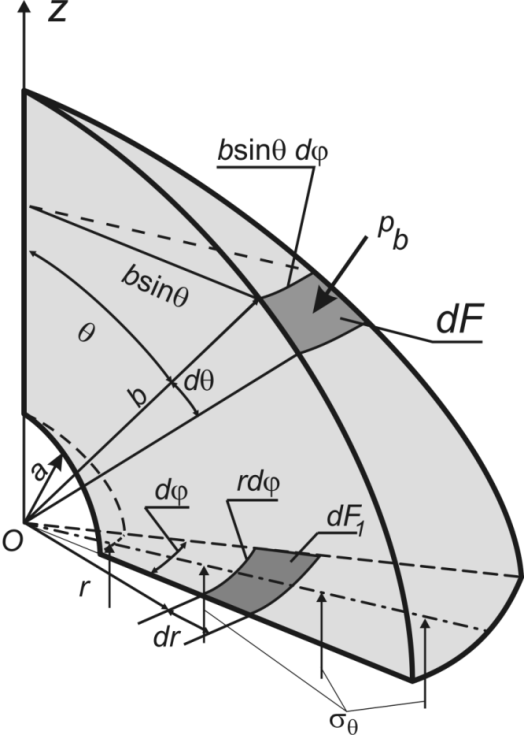


Рис. 4. ̶ Схема проверки равновесия массива со сферической полостью

Литература:

1. Мясников К.В., Леонов Е.А., Ромадин Н.М. Разработка научно-технических основ создания подземных хранилищ с помощью ядерных взрывов в массиве каменной соли // Сб. Peaceful Nuclear Explosions, III, 1974, Vienna, p. 179-191.

2. Андреев В.И. Упругость и ползучесть неоднородной полой сферы / Андреев В.И. [и др.] // Всес. Конф. «Фундам. исслед. и новые технологии в строительном материаловедении»: тез. докл. – Белгород, 1989. – С.6.

3. Языев Б.М. Нелинейная ползучесть непрерывно неоднородных цилиндров: дис. … канд. техн. наук. – М., 1990. – С. 171.

4. Туребаева Р.Д. Ползучесть неоднородного массива с цилиндрической полостью: дис. … канд. техн. наук. – М., 1994. – 117 с.