УДК 622.281

М.А.КАРАСЕВ
Факультет освоения подземного пространства,
аспирант кафедры строительства горных предприятий
и подземных сооружений

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ «КРЕПЬ – МАССИВ»

Выполнена постановка задачи о распределении температурных напряжений вокруг подземных хранилищ радиоактивных отходов. В качестве геологических формаций приняты синие глины, залегающие в Северо-Западном регионе России. Задача решена методом конечных элементов. Выявлено влияние фактора температуры на напряженно-деформированное состояние системы «крепь – массив». Установлен характер подъема поверхности от температуры в камере. Отмечено появление ярко выраженных растянутых зон в массиве, обусловленное температурными напряжениями. Проведен анализ характера распределения напряжений σ_x и σ_y в массиве и обделке тоннеля.

The problem of temperature stress distribution in the environs of underground radioactive waste storages is formulated in the paper. Blue muds deposited in the Northwest region of Russia were taken as geological formations. The problem was solved applying the Finite Element method. Influence of temperature on the stress and strain state of the «support – massif» system was discovered. Surface elevation was determined as dependent on the chamber temperature. Well-defined tension areas were revealed in the massif due to temperature stress. Character of σ_x and σ_y stress distribution was analyzed for the massif and the lining.

В России скопилось значительное количество радиоактивных отходов (РАО) от деятельности атомных электростанций, военного и гражданского флотов, перерабатывающих предприятий и т.д. Например, в Северо-Западном регионе радиоактивные отходы от деятельности ЛАЭС храняться в приповерхностных хранилищах, которые не обеспечивают должной экологической безопасности. Одним из решений данной проблемы является комплексное использование подземного пространства для захоронения отходов. Для хранения РАО наиболее пригодны граниты, соли и глины. В Северо-Западном регионе наиболее доступными являются глины и граниты.

Расчет основывался на двух методах: 1) компьютерное моделирование; 2) аналитический метод решения.

Для исследования напряженно-деформированного состояния системы «массив – крепь» принята упругая модель деформирования окружающего массива синих кембрийских глин. Исследование напряженно-деформированного состояния системы «крепь – массив» в общем случае сводится к анализу напряженного состояния в бесконечной плоскости с круговым отверстием (рис.1). В отверстие вставлено упругое кольцо, моделирующее работу обделки с грунтовым массивом. Обделка вводится в работу мгновенно после обнажения массива. Массив пород (в числителе) и обделка (в знаменателе) считаются выполненными из упругого изотропного материала с различными физико-механическими свойствами:

Модуль деформации, МПа	$1{,}6\cdot10^3/1\cdot10^4$
Коэффициент Пуассона	0,3/0,28
Плотность, кг/м^3	2100/2400
Коэффициент теплового расширения, 1/K	$0{,}97\cdot10^{-5}/0{,}8\cdot10^{-5}$
Теплопроводность, Вт/(м·K)	1,5/1,2
Теплоемкость, кДж/(кг·K)	0,88/0,92

Как известно, при хранении РАО выделяют значительное количество тепла,

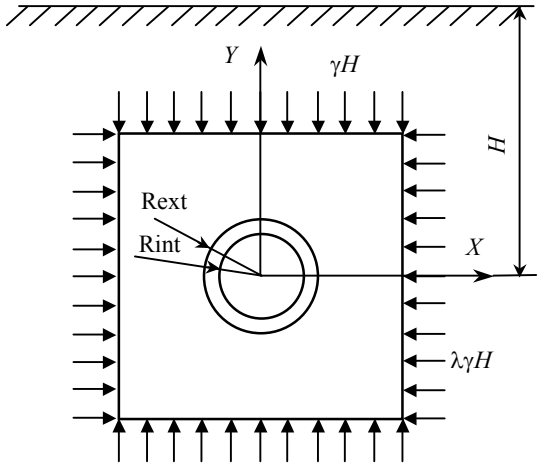


Рис.1. Расчетная схема исследования напряжений системы «крепь – массив» для камеры круглого сечения

температура внутри хранилища составляет 373-423 К. Исследование влияния температурного фактора на распределение напряжений в системе «крепь – массив» сводится к рассмотрению плоской стационарной задачи со следующими граничными условиями: 1) температура дневной поверхности 293 К, породного массива по нижней границе на глубине 100 м – 281 К, повышение температуры плавное; 2) через выработки проходит тепловой поток, происходит нагрев крепи и далее тепло передается в массив; 3) температура на внутреннем контуре обделки 373 К.

На основании полученных данных была решена задача нахождения напряжений с учетом влияния температуры. Как известно с увеличением температуры практически все материалы увеличиваются в объеме. Этот фактор особенно важен при рассмотрении задач шахтного строительства, когда выработки находятся в стесненных условиях.

Рассматривая распределение температурных напряжений по вертикальному разрезу (рис.2), получаем следующие закономерности. На расстоянии 40 м от выработки напряжения σ_x и σ_y незначительны и стремятся к нулю. Далее они линейно возрастают, причем рост напряжения σ_x более крутой. На расстоянии 10 м от тоннеля (четыре радиуса выработки) изменение напряжений принимает нелинейный характер. До контакта с крепью в массиве характер напряжений σ_x и σ_y качественно схож и отличается лишь количественно. На контакте крепь – массив (в своде и подошве тоннеля) σ_x = 1,2 МПа, σ_y = 0,56 МПа. Затем характер изменения горизонтальных и вертикальных напряжений кардинально расходится. Напряжение σ_y имеет пиковое значение на контакте крепь – массив и затем линейно снижается до нуля. На внутреннем контуре σ_y = 0. Горизонтальные напряжения σ_x, наоборот, резко возрастают и составляют на внутреннем контуре крепи 7,64 МПа.

Рассмотрим распределение напряжений по горизонтальному разрезу (по оси выработки) (рис.3). Поскольку характер распределения напряжений σ_x и σ_y различный, рас-

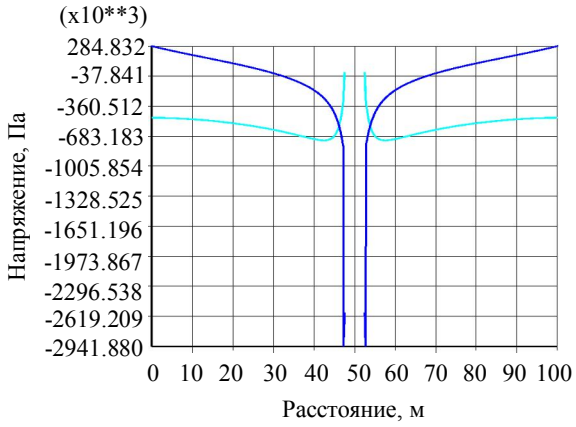


Рис.2. Горизонтальные и вертикальные напряжения по вертикальному разрезу

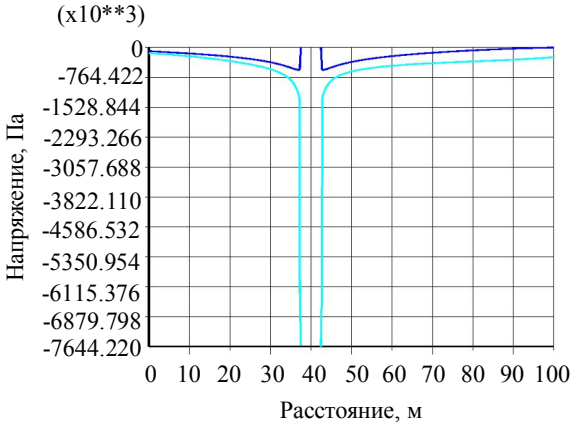


Рис.3. Горизонтальные и вертикальные напряжения по горизонтальному разрезу

смотрим их раздельно. Напряжение σ_x на расстоянии 50 м от центра выработки равняется 0,41 МПа, затем на промежутке 50-10 м изменяется нелинейно и увеличивается до 0,71 МПа. Далее происходит уменьшение напряжений, и на контакте $\sigma_x = 0{,}34$ МПа. На внешнем контуре $\sigma_x = 0$. Заметим, что все напряжения были сжимающими. Вертикальные напряжения σ_y на расстоянии 50 м от центра выработки являются растягивающими. На промежутке 50-2,75 м изменения происходят по логарифмическому закону. На расстоянии 30 м от центра выработки напряжения σ_y меняют знак и становятся сжимающими. На контуре $\sigma_y = 2{,}91$ МПа. По длине обделки напряжения уменьшаются.

Получены следующие результаты для задачи, когда учитывается влияние на напряженное состояние только температуры: напряжения в горизонтальном направлении концентрируются в сводовой части и в нижней части тоннеля. Максимальное значение $\sigma_x = 7{,}64$ МПа (при учете только веса пород в модели $\sigma_x = 3{,}23$). Вертикальные напряжения концентрируются в средней, нижней и верхней частях тоннеля, максимальное значение $\sigma_y = 2{,}91$ МПа (от веса пород $\sigma_x = 11{,}7$ МПа). Был выявлен незначительный подъем поверхности, а также изменение положения тоннелей в пространстве. Этот эффект связан с увеличением грунта в объеме. При определении влияния температуры на напряженно-деформированное состояние системы «крепь – массив» установлено, что характер распределения напряжений отличается от стандартного представления. Горизонтальные напряжения σ_x превышают вертикальные σ_y в 3 раза.

Научный руководитель д.т.н. проф. *А.Г.Протосеня*