

Молдосhev P.A.

РАСЧЕТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕПИ С НЕОДНОРОДНЫМ ПОРОДНЫМ МАССИВОМ

R.A. Moldoshev

COMPUTATIONS OF CREPES WITH INHOMOGENEITIES ROCK MASS

УДК: 517.895

Приведены результаты расчета контактной задачи для неоднородной среды с учетом неупругого деформирования горных пород.

The results of calculation of the contact problem for an inhomogeneous medium with the elastic deformation of the rock.

Массив горных пород в силу особенностей его формирования и строения представляет собой сложный объект для исследований. Напряженное состояние отдельных участков обусловлено различием прочностных и деформационных свойств разных пород. Сложность горно-геологических и горнотехнических условий породного массива ставит перед геомеханикой разработку метода, учитывающей выше названные особенности, на основе современного достижения в области численных методов математики, механики твердого деформируемого тела и компьютерной техники. Простота разработанных моделей сред [1,2], а также тесная связь с традиционными аппаратами геомеханики и методом конечных элементов (МКЭ) позволяет ее реализовать и довольно широко применять их при решении разнообразных задач.

Рассмотрим контактную задачу для неоднородной среды с учетом неупругого деформирования горных пород. Исследовалась на основе МКЭ горная однопутевая выработка пролетом 2,5 м и высотой 2,25 м. Крепь, имеющая постоянную толщину 25 см, очерчена в верхней части до уровня горизонтального диаметра по радиусу $R_0=1,25$ м (внутренний радиус), ниже - вертикальными стенками длиной 1 м; обратный свод-горизонтальный, прямолинейный. Вследствие симметрии крепи относительно вертикальной

Исходные расчетные данные

оси в расчетной схеме рассматривалась лишь половина области массива и крепи, которая разбивалась на треугольные конечные элементы. Массив принимался невесомым, а нагрузка от собственного веса пород (γH) на отметке расположения оси выработки переносилась на верхнюю границу области. Рассмотрено два варианта глубины расположения выработки: $H_1=400$ м и $H_2=1200$ м. Исходные данные представлены в таблице 1.

Для всех расчетов принят постоянный угол внутреннего трения массива $\phi = 30^\circ$, упругие характеристики крепи: модуль упругости $E_k=25 \cdot 10^3$ МПа и коэффициент Пуассона $\nu_k=0,2$ и массива $E_m=6 \cdot 10^3$ МПа, $\nu_m=0,2$. Для создания коэффициента бокового распора в слое, близком к 1, коэффициент Пуассона слоя $\nu_{сл}$ принимался близким к 0,5 ($\nu_{сл}=0,48$). Прочность пород во всех случаях принимались в 500 раз меньшей модуля упругости.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты расчетов относительных нормальных ($P/\gamma H$), касательных ($q/\gamma H$) нагрузок (напряжений) и относительных нормальных напряжений в крепи ($\sigma_0/\gamma H$).

Выполненные варианты расчета можно сгруппировать на 4:

I - однородная среда; II - неоднородная среда со слабым слоем ($H_1=400$ м); III - неоднородная среда со слабым слоем ($H_2=1200$ м); IV - неоднородная среда с прочным слоем ($H=400$ м).

I. Первые три варианта расчета выполнены для однородной среды (рис. 1); первый для упругой среды $H=400$ м, второй и третий для неупругой среды, соответственно при $H_1=400$ м и $H_2=1200$ м.

Таблица 1

Номер варианта	$\gamma H, \text{МПа}$	m сл, М	Есл, МПа	$\Phi_{сл}, \text{град.}$
1	10	-		
2	10			
3	30			
4	10	R_0	$3 \cdot 10^3$	30°
5	10	R_0	$0,6 \cdot 10^3$	30°
6	10	R_0	$0,6 \cdot 10^3$	10°
7	10	$R_0/2$	$0,6 \cdot 10^3$	30°
8	10	$R_0/2$	$0,6 \cdot 10^3$	10°
9	30	R_0	$3 \cdot 10^3$	30°
10	30	R_0	$0,6 \cdot 10^3$	30°
11	30	R_0	$0,6 \cdot 10^3$	10°
12	30	$R_0/2$	$0,6 \cdot 10^3$	30°
13	10	R_0	$60 \cdot 10^3$	30°

При незначительном переходе пород вблизи контура выработки в неупругое состояние на глубине H] (максимальный размер зоны неупругих де-

формаций (ЗНД) составляет 0,67 от величины радиуса выработки $R=R_0+0,25$) величины нормальных нагрузок на крепь в кровле и боках, по сравнению с

упругим состоянием, практически не изменяются, в почве же они увеличиваются в три раза. Однако с ростом нормальных нагрузок в почве увеличились и касательные, что привело к выравниванию напряжений в крепи, уменьшению изгибающих моментов в опасных сечениях, а в кровле - даже к исчезновению растягивающих напряжений. Таким образом, переход небольшой зоны вокруг выработки в неупругое состояние может оказаться благоприятным для работы крепи. При увеличении напряженного состояния массива ($H_2=1200$ м) растет ЗНД (5,66 от радиуса выработки), увеличиваются нагрузки на крепь и напряжение в крепи. Величина же максимальных относительных нормальных нагрузок (Р/ПН) остается почти без изменения при некотором уменьшении неравномерности их распределения по контуру крепи. Относительные касательные контактные нагрузки (Р/ПН) уменьшаются, что приводит к увеличению относительных напряжений в крепи (σ/σ_H) (по сравнению с неупругим решением для $H_p=400$ м) : в кровле на 75 %, в боках на 11%, а в почве максимальные растягивающие напряжения увеличиваются на 70%. Изгибающие моменты при этом, отнесенные к Н, увеличиваются в кровле на 59% в боках - на 50% и в почве - на 80%.

II. Варианты 4-8 выполнены для оценки влияния слабого слоя при относительно небольшом уровне напряжений $H_i=400$ м. Результаты приведены на рис. 2. Вариант 4 - для условий относительно мощного слоя $m_{cl}=R_0$ при $E_{cl}=0,5E$ м; вариант 5 $m_{cl}=R_0$ при $E_{cl}=0,1E$ м; вариант 6 - $m_{cl}=R_0$ при $E_{cl}=0,1E$ м, $\phi_{сл}=10^\circ$; вариант 7- $m_{cl}=R_0$ 12 при $E_{cl}=0,1E$ м, $\phi_{сл}=30^\circ$; вариант 8 - $m_{cl}=R_0$ 12 при $E_{cl}=0,1E$ м, $\phi_{сл}=90^\circ$.

Анализ результатов позволяют отметить уменьшение модуля упругости (прочности) слоя в 5 раз приводит к увеличению нормальной нагрузки всего на 10- 15 %. При сравнении с однородной средой (вариант 2) нагрузки возрастают в кровле для варианта

4 на 50%, для варианта 5 на 80%. В боках средней нагрузки увеличиваются в 1,5 раза.

Касательные нагрузки (q/ПН) для вариантов 4 и 5 и характер их распределения оказывается близким. Напряжению в крепи (σ/σ_H) при уменьшении модуля упругости слоя в 5 раз, увеличивается всего на 20-40%. В тоже время, напряжение в кровле (σ/σ_H) по сравнению с однородной средой увеличиваются соответственно на 45 и 90%. На участках боковых стен при введении слабого слоя изгибающего момента меняют знак напряжение в почве по сравнению с однородной средой практически не изменяются.

Результаты расчета по варианту 6 полностью совпали с результатами варианта 5. Вывод об отсутствии влияния угла внутреннего трения слабого слоя объясняется тем, что слой из-за состояния, близкого к гидростатическому, не переходит в предельное состояние, а для упругого состояния характеристика угла внутреннего трения не имеет значения. Интересно отметить, что в этом случаи предельное состояния переходили породы вблизи контура над и под слоем. Такой же эффект был получен при сопоставлении вариантов 7, 8, 10 и 11 поэтому в дальнейшем варианты 8 и 11 не анализировались. Изменение мощности слоя в два раза (вариант 7,8) не привело к сколько нибудь существенным изменениям. Так, нагрузки (Р/ПН) в среднем снижаются на 10%, хотя максимум нагрузок остается в районе более тонкого слоя. Напряжения в крепи (σ/σ_H) снижаются на 10-20 %.

III. Варианты 9-12 аналогичны по исходным данным соответственно вариантам 4-7, но выполнены они для анализа влияния напряженного состояния массива горных пород для глубины $H_2=1200$ м. Если анализ проводить в терминах относительных нагрузок (Р/ПН), q/ПН и относительных напряжений, то все выводы количественные сопоставления, сделанные при анализе вариантов II группы, сохраняются.

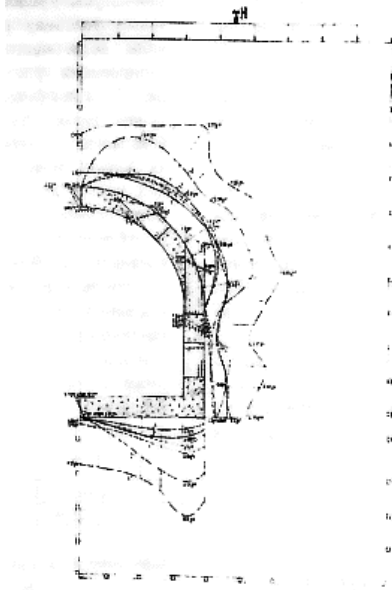


Рис. 1. Эпюры нагрузок и напряжений для вариантов -1, 2 и 3: 1 - нормальных; 2 - касательных

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор Абдылдаев Э.К.