

## К РАСЧЕТУ ТОННЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р.А. Абиров<sup>(1)</sup>, Ф.Ф. Адилов<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [rustam\\_abirov@mail.ru](mailto:rustam_abirov@mail.ru)

**Аннотация:** В работе представлена численная методика расчетов массивов горных пород с выемками находящихя в равновесном состоянии. Методика позволяет учитывать существующие трещины и слоистость горной породы.

## FOR CALCULATION OF TUNNELS WITH USE OF BOUNDARY ELEMENT METHOD

R.A. Abirov<sup>(1)</sup>, F.F. Adilov<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan, [rustam\\_abirov@mail.ru](mailto:rustam_abirov@mail.ru)

**Abstract:** Numerical technique for calculation of a strain and stress state of a rock continua are presented in this issue. Existing fractures and layered character of rocks can be taking into account by this approach.

## КӨП КЫРДУУ ЭЛЕМЕНТТЕР ЫКМАСЫН КОЛДОНУУ МЕНЕН ТОННЕЛДЕРДИ ЭСЕПТӨӨГӨ

Р.А. Абиров<sup>(1)</sup>, Ф.Ф. Адилов<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> ӨР ИА Механика жана курулмалардын сейсмоторуштуулугу институту, Ташкент, Өзбекстан, [rustam\\_abirov@mail.ru](mailto:rustam_abirov@mail.ru)

**Аннотация:** Бул иште тең салмак абалында сакталган тоо пародаларын эсептөөнүн сандык ыкмасы берилген. Методика тоо пародаларынын жаракаларын жана катмардуулугун эске алууга мүмкүндүк берет.

Рассмотрение горных выработок в скальных породах отличается тем, что такие тоннели следует рассматривать как выемки в телах, находящихся в равновесном состоянии. Элементы конструкции, в которых возникают опасные напряжения, могут быть усилены с помощью установок скрепляющих подпорок и стрингеров. Но при этом приходится учитывать возникающие и существующие трещины в горной породе, её слоистость, начальные напряжения и деформации, которые могли появиться в результате горных работ. Таким образом, расчет таких тоннелей следует проводить на основе моделей учитывающей свойства горной породы, трещиноватость ее и слоистость.

Метод граничных элементов оказался весьма удобным инструментом при решении задач горной механики тем, что можно учитывать напряжения, действующие на

бесконечности. При этом учет условий на бесконечности не требует разбиения и рассмотрения бесконечно удаленных зон.

Рассмотрим методику расчета тоннелей в скальном грунте. В первом приближении и при расчетах по упрощенным схемам скальная порода рассматривается как изотропная среда. И при ее решении изначально используют подход суперпозиции фундаментального решения Кельвина.

Выработки в слоистой горной породе можно рассматривать на основе модели “щелей” использованной Ержановым или, следуя Гудману, на основе рассмотрения материала горной породы как анизотропного. При этом полагается, что трещиноватость породы регулярна и поверхности разрывов близко расположены друг к другу (расстояния между поверхностями разрывов значительно меньше чем рассматриваемая область). Для такого подхода следует использовать решение Кельвина для анизотропного тела. Анизотропность горной породы рассматривается в виде ортотропного материала, а для плоского случая он сводится к трансверсально изотропному случаю.

Напряженное состояние массива горной породы является, как правило, состоянием сжатия. Во многих задачах прикладной механики рассматривается тело изначально свободное от напряжений. В горной механике связанных с подземной выработкой необходимо постулировать начальное напряженное состояние массива горных пород. Это начальное состояние нарушается после образования выработки. Таким образом, полные напряжения представляются как сумма начальных напряжений и их изменений, обусловленных проведением выработки:  $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^0 + \sigma'_{ij}$

Изменения напряжений  $\sigma'_{ij}$  обычно называют дополнительными напряжениями.

Аналогично можно записать для компонент смещений:  $u_i = u_i^0 + u'_i$

Задачи, касающиеся горных выработок следует решать в три этапа:

- 1) постулировать начальное напряженное состояние;
- 2) решить краевую задачу в дополнительных напряжениях и смещениях;
- 3) сложить дополнительные и начальные напряжения и смещения для нахождения полного решения.

Постановка краевых задач в дополнительных напряжениях упрощается если ввести понятия начальных  $t_i^0$ , дополнительных  $t_i'$  и полных усилий  $t_i$ , соотносящихся между собой в следующем виде:  $t_i' = t_i - t_i^0$ . В этом случае можно решать задачу в дополнительных напряжениях. Далее просто сложить напряжения, полученные при решении этой задачи с начальными напряжениями.

К примеру расчет тоннеля при действии собственного веса породы можно и удобнее решать в дополнительных напряжениях. А дополнительные усилия (граничные условия) следует представить в виде:  $t'_i = t_i - \sigma_{ji}^0 n_j$

В качестве начальных напряжений используются значения

$$\sigma_y = -\gamma h; \quad \sigma_x = \frac{\nu}{(1-\nu)} \sigma_y$$

А дополнительные граничные условия на линии границы берутся из предположения, что рассматриваемое тело сплошное. На практике часто принимается:

$\sigma_y = \lambda_1 \gamma h; \quad \sigma_x = \lambda_2 \gamma h; \quad \sigma_z = \gamma h$ , где  $h$  есть глубина залегания распора,  $\gamma$  - объемный вес,  $\lambda_i$  - коэффициенты бокового распора. Но этот подход как правило более инженерный и все входные параметры принимаются исходя их предварительного анализа конкретного случая. Более строгий подход предполагает использование положений теории упругости. Ниже показано решение, при котором используется именно такой подход.

Здесь численно исследовано развитие напряжений и смещений вокруг подземной выработки в слоистой горной породе. Для численного исследования использовался метод граничных интегральных уравнений в форме фиктивных нагрузок. Горная порода моделировалась как слоистая изотропная среда.

Любой скальный массив в ненарушенном состоянии в условия естественного залегания содержит компоненты напряжений, связанных с массой толщи пород, тектоническими напряжениями и т.д.

При очень больших величинах начальных напряжений следует свести к минимуму возникающую концентрацию напряжений.

В общем случае вертикальное нормальное напряжение является равновеликим массе вышележащей породы. С градиентом приблизительно 0.27 МПА на 1 м глубины.

По горизонтальной поверхности массива пород вертикальное напряжение должно соответствовать направленной вниз силе равновеликой массе вышележащей породы согласно

$$\sigma_y = -\gamma h; \quad \sigma_x = \frac{E_x \nu_{yz}}{E_y (1 - \nu_{xz})} \sigma_y$$

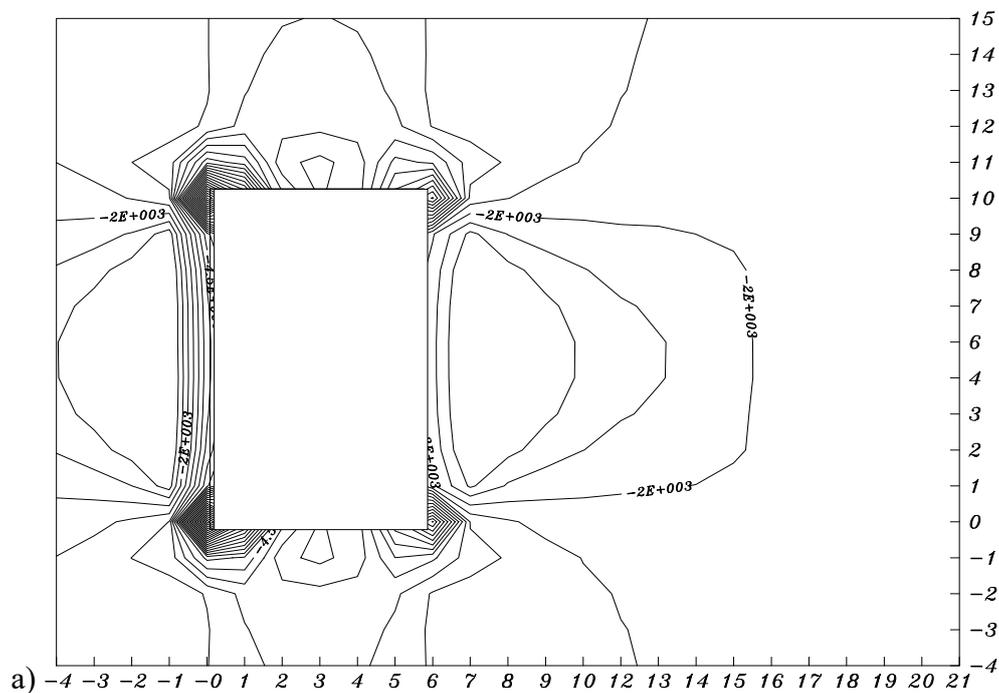
При этом, упругие постоянные выбраны в системе координат ХУ. Но при наклоне плоскости анизотропии под некоторым углом следует преобразовать эти коэффициенты.

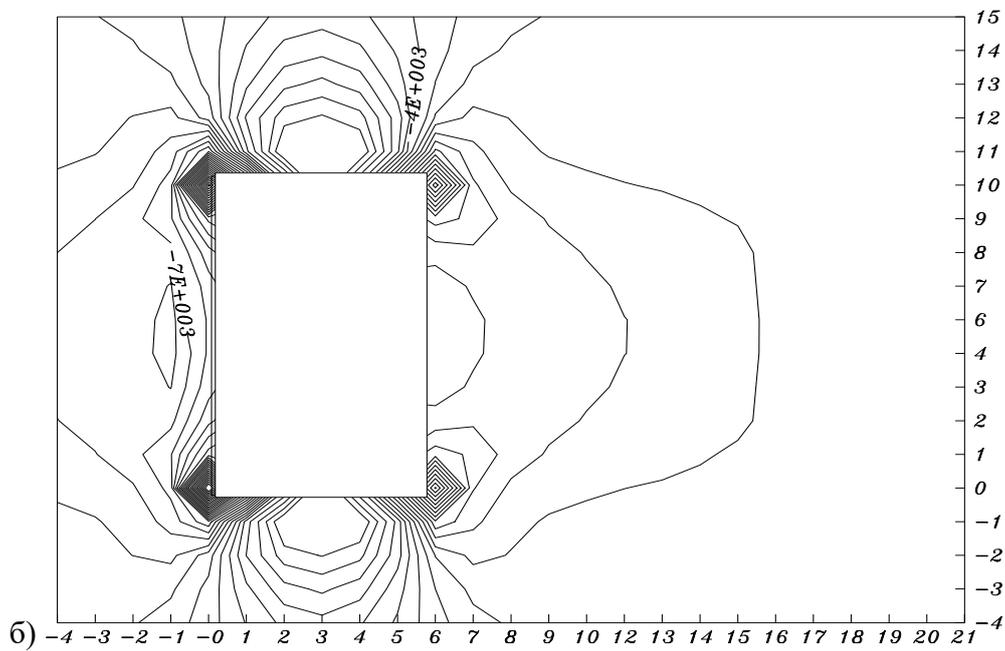
Упругие постоянные горной породы, равномерно рассеченные одной системой трещин, могут быть вычислены как эквивалентные характеристики гипотетического сплошного тела, заменяющего скальную породу.

Если допустить распределение трещин равномерно, то можно рассматривать породу как анизотропную среду

В скальной породе, напряжения в которой не превышают предела упругости и в которых есть так называемые залеченные трещины, на значительном расстоянии друг от друга определение для напряженно-деформированного состояния возможно на основе плоской задачи теории упругости.

На основе разработанной методики решена задача (рисунке 1) и показано распределение усилий в горном массиве при рассмотрении ее как анизотропной массы. Для задачи приняты следующие значения  $E_x=10^7$  КПа,  $E_y=1.2E7$  КПа,  $\nu_{xy}=0.2$ ,  $G_{xy}=5E6$  КПа, угол наклона оси анизотропии  $45^\circ$ , ненулевые напряжения на бесконечности  $\sigma_y=-5000$  КПа,  $\sigma_x=-2500$  КПа. Основание жестко зацементировано (на более жестком скальном основании), боковые стороны также жестко зацементированы, а верхняя граница свободна от напряжений.





а) изолинии напряжений  $\sigma_x$  ; б) изолинии напряжений  $\sigma_y$   
 Рисунок 1. Распределение усилий в горной породе

Разработанный подход позволяет оценить НДС в горной породе ослабленной выемкой и локализовать места требующие укрепления.