

**Ботоканова Бактыгуль Асангожоевна, Баялиева Жамиля Аскарровна,  
Жамангапова Айнура**

*Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И.Скрябина*

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ**

**Анотация:** В данной научной статье рассмотрена построение модели и расчет напряженного состояния напорных туннелей с привлечением теории функций комплексного переменного [1].

**Анотация:** Илимий макалада комплекстик өзгөрүүчү функциянын негизинде басым күчү таасир этүүчү туннельдин модели түзүлүп эсеби эсептелинди.

**Annotation:** In this paper, we consider the construction of the model and the calculation of the stressed state of pressure tunnels with the use of the theory of functions of a complex variable.

**Ключевые слова:** Геомеханика, туннель, горные породы, гравитация, напряжения, комплексные переменные, функция, сейсмические силы, горные породы.

**Өзөктүү сөздөр:** Геомеханика, туннельдер, тектер, тартылуу күч, стресс, татаал өзгөрмөлөр, сейсмикалык күч, тектер.

**Keywords:** Geomechanics, tunnel, rocks, gravity, stresses, complex variables, function, seismic forces, rocks.

### Введение

Развитие гидротехнического строительства и гидроэнергетики связано с сооружениями крупных инженерных объектов в массивах скальных пород, особенно в условиях Кыргызстана.

Для обеспечения устойчивой и безаварийной эксплуатации подземных транспортных, канализационных и гидротехнических туннелей, расположенных в горной местности требуется знание геомеханического состояния массивов вокруг гидротехнических туннелей, обусловленными многими естественными и техногенными факторами. Здесь наиболее актуальными задачами является оценка состояния горных пород туннелей, находящиеся в условиях совместного действия силы гравитации, сейсмики, тектоники и гидротехнического напора.

### Материал и методы исследования.

Оценка напряженно-деформированного состояния и прочности напорных гидротехнических туннелей на основе создания математической модели реологического поведения массива.

Модель напряженного состояния массивов пород вокруг тоннелей отыскивается в виде суммы:

$$\begin{aligned}\sigma_x^0 &= \sigma_x^{\Pi} + \sigma_x^P + \sigma_x^B + \sigma_x^H, \\ \sigma_y^0 &= \sigma_y^{\Pi} + \sigma_y^P + \sigma_y^B + \sigma_y^H, \\ \tau_{xy}^0 &= \tau_{xy}^{\Pi} + \tau_{xy}^P + \tau_{xy}^B + \tau_{xy}^H.\end{aligned}\quad (1)$$

Напряжения с верхним индексом « $\Pi$ » - поле напряжений для полуплоскости  $y \leq 0$ , которое возникает при совместном действии гравитационных сил  $\gamma$  и сейсмических сил  $\gamma_c = k_c \gamma$ . Сила гравитации  $\gamma$  направлено вертикально вниз, т.е. в глубь массива земной коры, сейсмическая сила направлена из глубины массива к поверхности земли и составляет острый угол ( $\delta$ ) с вертикальной осью. Это поле напряжений определен в [2] и имеют вид:

$$\sigma_x^{\Pi} = A_1(y - h) + Tx \quad \sigma_y^{\Pi} = A_2(y - h) \quad \tau_{xy}^{\Pi} = A_3(y - h) \quad (2)$$

$$A_1 = \lambda\gamma(1 - k_c \cos \delta); \quad A_2 = \gamma(1 - k_c \cos \delta); \quad A_3 = k_c \cdot \gamma \sin \delta. \quad (3)$$

где,  $h$  – глубина каньона; начало оси координат расположено в вершине параболы;  $k_c$  – коэффициент сейсмичности горного района.

Напряжения с индексом «р» сверху  $\sigma_x^P$ ,  $\sigma_y^P$ ,  $\tau_{xy}^P$  - поле напряжений, которые характеризуют влияния рельефа каньона в весомой полуплоскости;  $\sigma_x^B$ ,  $\sigma_y^B$ ,  $\tau_{xy}^B$  - характеризуют влияние выработки,  $\sigma_x^H$ ,  $\sigma_y^H$ ,  $\tau_{xy}^H$  определяет влияния напора воды  $P$  в горной выработке. Выработку под напором  $P_B$  инженерной практике принято называть напорным гидротехническим туннелем. Соотношение (3), кроме интегралов уравнений равновесия, содержит тектонического сжатия или растяжения  $T_x$  вдоль оси  $Ox$ . Начальное напряженное состояние массивов пород в зоне влияния каньона в условиях действия указанных сил представляется в виде суммы первых двух полей напряжений с индексами « $\Pi$ » и « $P$ » и удовлетворяют на контуре граничные условия:

$$\begin{aligned}
X_n^* &= (\sigma_x^P + \sigma_x^n + T_x) * (\cos n, x) + (\tau_{xy}^P + \tau_{xy}^H) \cos(n, y) = 0; \\
Y_n^* &= (\tau_{xy}^P + \tau_{xy}^B) \cos(n, x) + (\sigma_y^H + \sigma_y^P) \cos(n, y) = 0
\end{aligned}
\tag{4}$$

где  $n$  - направление внешней нормали в какой-либо точке контура.

Условие (4) содержит сумму фиктивных нагрузок  $N$  и  $T$  и нагрузок-усилий. Последнее возникает от первого поля напряжений (3) в контурных точках. Поэтому  $N$  и  $T$  принимаются равным по величине и противоположными с  $N^H, T^H$ . Расчетная схема туннеля показана на (рис.1.)

Исходные данные для размеров и форм сечения туннеля:

$$\begin{aligned}
R := 1 \quad \delta := 0 \quad \rho := 1..2 \quad d1 := 0.4 \quad \zeta(\rho, \theta) := \rho \cdot e^{i \cdot \theta} \\
\omega0(\rho, \theta) := \frac{d1}{\zeta(\rho, \theta)} \quad \omega01(\rho, \theta) := \frac{-d1}{\zeta(\rho, \theta)^2} \quad \omega02(\rho, \theta) := \frac{2 \cdot d1}{\zeta(\rho, \theta)^3} \quad \omega03(\rho, \theta) := \frac{-6 \cdot d1}{\zeta(\rho, \theta)^4}
\end{aligned}$$

Расчетная форма контура и исследуемая область

$$\begin{aligned}
z(\rho, \theta) &:= R \cdot e^{i \cdot \delta} \cdot (\zeta(\rho, \theta) + \omega0(\rho, \theta)) & x1(\rho, \theta) &:= \text{Re}(z(\rho, \theta)) \\
y1(\rho, \theta) &:= \text{Im}(z(\rho, \theta)) & z1(\rho, \theta) &:= 0.2 & xy(\rho, \theta) &:= \begin{pmatrix} x1(\rho, \theta) \\ y1(\rho, \theta) \\ z1(\rho, \theta) \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

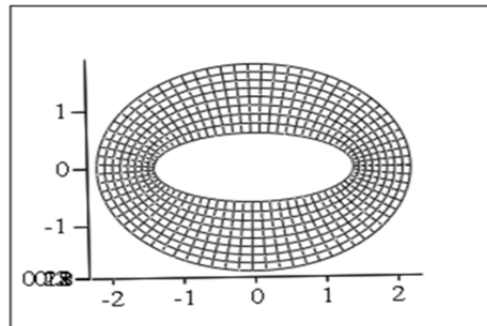


Рис.1. Расчетная схема туннеля

Для графического изображения формы и расчетной области сечения туннеля используем программу Mathcada предварительно создав трехмерной функции для поверхности  $xy$  в виде:[2]

Массивы для поверхностей распределение напряжений для в декартовых координатах:

$$\begin{aligned}
\sigma_{xy}(\rho, \theta) &:= \sigma2(\rho, \theta) + \sigma1(\rho, \theta) \\
sxy(\rho, \theta) &:= (\sigma\theta(\rho, \theta) - \sigma\rho(\rho, \theta) + 2 \cdot i \cdot \tau\rho\theta(\rho, \theta)) \cdot \frac{\rho^2}{\zeta(\rho, \theta)^2} \cdot \frac{\overline{\omega p1(\rho, \theta)}}{\omega p1(\rho, \theta)} \\
\sigma_{xy}(\rho, \theta) &:= \text{Re}(sxy(\rho, \theta)) & \tau_{xy}(\rho, \theta) &:= \frac{\text{Im}(sxy(\rho, \theta))}{2}
\end{aligned}$$

$\sigma_r(1, \theta) =$	$\tau_{r\theta}(1, \theta) =$
$4.974 \cdot 10^{-14}$	$4.796 \cdot 10^{-14}$
$-3.553 \cdot 10^{-15}$	$-1.776 \cdot 10^{-14}$
$-1.776 \cdot 10^{-14}$	$1.243 \cdot 10^{-13}$
$-5.329 \cdot 10^{-14}$	$-4.263 \cdot 10^{-14}$
$-9.237 \cdot 10^{-14}$	$1.181 \cdot 10^{-13}$
0	$-2.665 \cdot 10^{-15}$
$-2.842 \cdot 10^{-14}$	$1.11 \cdot 10^{-14}$
0	$-2.887 \cdot 10^{-14}$
$-2.842 \cdot 10^{-14}$	$2.132 \cdot 10^{-14}$
$3.553 \cdot 10^{-15}$	$1.776 \cdot 10^{-15}$
$1.776 \cdot 10^{-14}$	$-1.155 \cdot 10^{-14}$
$3.553 \cdot 10^{-14}$	$2.665 \cdot 10^{-15}$
$1.421 \cdot 10^{-14}$	$-8.882 \cdot 10^{-15}$
$2.132 \cdot 10^{-14}$	$5.329 \cdot 10^{-15}$
$-2.132 \cdot 10^{-14}$	$5.329 \cdot 10^{-15}$
...	...

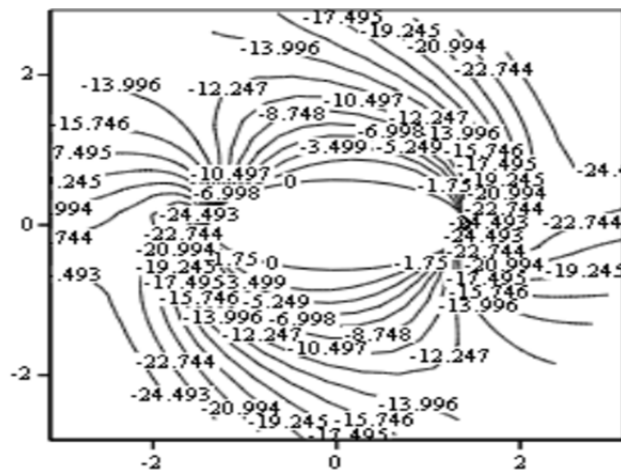


Рис.2. Расчетная схема распределение напряжений вокруг туннеля

Таким образом из рис.2. видно, что результаты контурных напряжений, где из трёх компонентов только одна - окружная компонента отлично от нуля, а другие два компонента равны нулю. Нормальная и касательная компоненты во всех точках близка нулю. Погрешность не более  $10^{-15}$  степени. Изменением исходных данных моделируется туннель с эллиптическим сечением. Граничные условия в этом случае выполняются с достаточной точностью, как показано в таблицах для компонентов напряжений.

**Выводы.**

Из выше приведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- Как видно достигнуто почти точное соответствие прямых и обратных отображений для внешности кривой параболы на полуплоскость вспомогательного переменного  $\zeta$ . Распределения напряжений вокруг туннеля определены с аналитическим методом моделирования напряженно-деформированного состояния, в отличие от экспериментальных и численных методов моделирования, допускает совместный учет влияния разно-масштабных факторов и избегает гипотетически задаваемых граничных условий;

- Использование данного способа построения туннелей обеспечивает с одной стороны- экономичность при строительстве, с другой, и главной – повышение устойчивости туннелей, которые служат надежной защитой от природных катастроф;

- Подход к моделированию поведения подземных сооружений основывается на том, что любой подземный объект рассматривается как один и как составляющий элемент сложной природно-технической системы. Такой метод решения инженерных задач приводит к минимизации экологического ущерба для окружающей среды и дает возможность решать задачи в широком диапазоне.

### **Список использованной литературы**

1. Мухелишвили Н.И. /Некоторые основные задачи математической теории упругости. [Текст] / Мухелишвили Н.И. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
2. Жумабаев Б. /Распределение напряжений в массивах пород с гористым рельефом. [Текст] /Жумабаев Б. - Фрунзе: Илим, 1988. - 190 с.
3. Ботоканова Б.А. Расчет напряжённого состояния напорных гидротехнических туннелей. [Текст] /Б.А. Ботоканова, Б. Жумабаев - Вестник КАУ, №2, Бишкек, 2004. - 84-87 с.
4. Ботоканова Б.А. Распределение напряжений вокруг напорного туннеля с эллиптическим (круглым) поперечным сечением. [Текст] / Б.А. Ботоканова. Б. Жумабаев - Сборник трудов Международной конференции «Проблемы геомеханики и освоения недр» Вып.13. Бишкек. 2011. 330-338 с.
5. Кирьянов Д.В. Mathcad 14 – Спб.: БВХ Петербург, 2007.

**Рецензент:** д. т. н., и.о. проф. Ж. Т.Темирбеков

### **Сведения об авторах**

**1. Фамилия, имя, отчество – Ботоканова Бактыгуль Асангожоевна**

**Место работы** – Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И.Скрябина

**Должность** – ст.преподаватель

**Почтовый адрес места работы** – 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68

Контактные телефоны (служебный, домашний, мобильный), факс, e-mail – Телефоны: 0557586822, Факс: +996 312 54-05-45, E-mail: [ms.baky67@mail.ru](mailto:ms.baky67@mail.ru)

**2. Фамилия, имя, отчество – Баялиева Жамиля Аскарвна,**

**Ученая степень** – кандидат технических наук, ст.преподаватель

**Место работы** – Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И.Скрябина

**Должность** – ст. преподаватель

**Почтовый адрес места работы** – 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68

Контактные телефоны (служебный, домашний, мобильный), факс, e-mail – Телефоны: +996 312 54-04-35, Факс: +996 312 54-05-45, E-mail: [ms.jamila62@mail.ru](mailto:ms.jamila62@mail.ru)

**3. Фамилия, имя, отчество – Жамангапова Айнура**

**Место работы** – Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И.Скрябина

**Должность** – ст.преподаватель

**Почтовый адрес места работы** – 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68

Контактные телефоны (служебный, домашний, мобильный), факс, Телефоны: 0772662623, E-mail. [ainura-20.69@mail.ru](mailto:ainura-20.69@mail.ru)