

ISSN 1694-6065

КОМИТЕТ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ
И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ КЫРГЫЗСТАНА
ИНСТИТУТ ГЕОМЕХАНИКИ И ОСВОЕНИЯ НЕДР
НАН КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

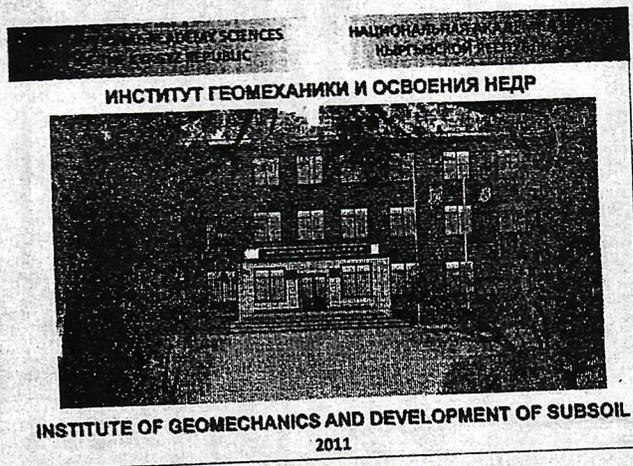


СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

ВЫПУСК ПЯТНАДЦАТЫЙ

Сборник трудов Международной конференции
«Проблемы геомеханики и освоения недр»

посвященная 50-летию Института геомеханики и освоения
недр и 80-летию академика НАН КР И.Т.Айтматова
15-17 июня, 2011 г.



БИШКЕК-2012

Заведую: ул. Сер. Дс 825.21.643 Москва, 12

1 в правобережном примыкании плотины Токтогульской ГЭС разработана методика 4-уровневой вероятностной оценки устойчивости.

В качестве диагностического параметра используется относительная доля показаний приборов, вышедших за нижний предел доверительного интервала $\pm 3\sigma$.

Численные значения критериев устойчивости определяются по степени отличия экспериментального статистического распределения диагностических показателей от теоретического нормального (Гауссового) распределения по уровню -3σ .

Предлагаемая методика основывается на статистическом анализе данных автоматизированных инструментальных наблюдений и формализованных подходах, которые минимизируют влияние субъективного фактора на результаты оценки устойчивости и принятие соответствующих управляющих решений.

Данная методика оценки устойчивости может применяться для оценки устойчивости других потенциально обвало оползне опасных объектов, оснащенных аналогичными инструментальными средствами наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений. Т. 1. Природные условия, инженерно-геологическое обоснование. Ташкент, САО Гидропроект, 1969. 301 с.
2. БСЭ. М.: Изд. «Советская энциклопедия», 1977. т.27. с.131.
3. Болотин В.В. О понятии устойчивости в строительной механике. // Проблемы устойчивости в строительной механике. – М.: 1965, с.6-27.
4. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М.: Высшая школа. 1968. 630 с.
5. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. М.: Недра, 1964.
6. Падуков В.А. Прогнозирование устойчивости бортов карьеров. Учебное пособие. Ленинград, 1981. 52 с.
7. Оползни. Исследование и укрепление. Под ред. Р. Шустера и Р. Кризека. М.: Мир, 1981, 368 с.

Б.ЖУМАБАЕВ, А. А.АМАНАЛИЕВ, Б.А. БОТОКАНОВА

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, г.Бишкек

МЕТОДИКА И ПРОГРАММА РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ ТУННЕЛЕЙ (ВЫРАБОТОК)

В работах [1,2] аналитически описано напряженное состояние массивов вокруг напорных туннелей. Логическое завершение этих работ в настоящей достигнуто с помощью программной среды MATHCAD [3].

Формы и размеры поперечных сечений туннеля моделируется с помощью отображающей функции

$$\omega(\rho, \theta) := (\zeta(\rho, \theta) + \omega_0(\rho, \theta)) \cdot R \cdot e^{-i \cdot \delta} \quad (1)$$

где

$$\omega_0(\rho, \theta) := \left(\frac{d_1}{\zeta(\rho, \theta)} + \frac{d_2}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{d_3}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{d_4}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{d_5}{\zeta(\rho, \theta)^5} \right)$$

Параметры (1) для туннеля сводчатым сечением равны:

$$R := 1 \quad d_1 := 0.141i \quad d_2 := 0.065i \quad d_3 := -0.097 \quad d_4 := 0.037 \quad d_5 := 0.001i$$

Здесь: R- коэффициент для увеличения или уменьшения размеров поперечного сечения туннеля;

Дельта-угол (в рад.) ориентации оси симметрии туннеля относительно горизонтальной оси.

Начальное напряженное состояние в центре будущего туннеля определяется величинами

$$S_y := 0. \quad S_{xy} := 0. \quad S_x := 10 \quad P := 0.$$

Здесь: S_x – горизонтальная компонента; S_y – вертикальная компонента ; S_{xy} – касательная составляющая начального напряженного состояния; P – внутренний напор воды. На контуре туннеля задаваемые граничные условия определяются через постоянных:

$$N1 := \frac{(S_x + S_y) \cdot R \cdot e^{-i\delta}}{2} \quad N2 := \frac{(S_y - S_x - 2i \cdot S_{xy}) \cdot R \cdot e^{-i\delta}}{2} \quad N3 := \overline{N1} \quad N4 := \overline{N2}$$

Формы и узлы сеток, где будет вычислено компоненты напряжений в контуре и вне контура вокруг туннеля изображено на рисунке 1.

$$\rho := 1..2 \quad \theta := 0..2 \cdot \pi$$

$$\omega01(\rho, \theta) := \frac{-d1}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{-2 \cdot d2}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{-3 \cdot d3}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-4 \cdot d4}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-5 \cdot d5}{\zeta(\rho, \theta)^6}$$

$$\omega02(\rho, \theta) := \left(\frac{2 \cdot d1}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{6 \cdot d2}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{12 \cdot d3}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{20 \cdot d4}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{30 \cdot d5}{\zeta(\rho, \theta)^7} \right) \cdot e^{i\delta}$$

$$\omega03(\rho, \theta) := \left(\frac{-6 \cdot d1}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-24 \cdot d2}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-60 \cdot d3}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{-120 \cdot d4}{\zeta(\rho, \theta)^7} + \frac{-210 \cdot d5}{\zeta(\rho, \theta)^8} \right)$$

$$z(\rho, \theta) := R \cdot e^{i\delta} \cdot (\zeta(\rho, \theta) + \omega01(\rho, \theta)) \quad x1(\rho, \theta) := \text{Re}(z(\rho, \theta)) \quad y1(\rho, \theta) := \text{Im}(z(\rho, \theta))$$

$$\omega p2(\rho, \theta) := R \cdot \omega02(\rho, \theta) \quad \omega p1(\rho, \theta) := (1 + \omega01(\rho, \theta)) \cdot R \cdot e^{i\delta} \quad z1(\rho, \theta) := 0.2$$

$$\omega0c(\rho, \theta) := d1 \cdot \zeta(\rho, \theta) + d2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 + d3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 + d4 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 + d5 \cdot \zeta(\rho, \theta)^5$$

$$\omega0pc(\rho, \theta) := -d1 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 - 2 \cdot d2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 - 3 \cdot d3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 - 4 \cdot d4 \cdot \zeta(\rho, \theta)^5 - 5 \cdot d5 \cdot \zeta(\rho, \theta)^6$$

$$\omega c(\rho, \theta) := R \cdot e^{-i\delta} \cdot \left(\frac{1}{\zeta(\rho, \theta)} + \omega0c(\rho, \theta) \right) \quad \omega pc(\rho, \theta) := R \cdot e^{-i\delta} \cdot (1 + \omega0pc(\rho, \theta)) \quad \zeta(\rho, \theta) := \rho \cdot e^{i\theta}$$

$$xy(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} x1(\rho, \theta) \\ y1(\rho, \theta) \\ z1(\rho, \theta) \end{pmatrix}$$

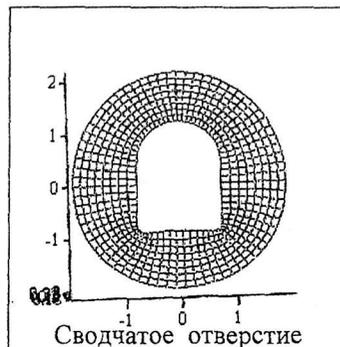


Рис. 1. Поперечное сечение туннеля

Перечень вспомогательных постоянных определяющих граничных условий на контуре туннеля

$$a01 := -N1 \cdot d1 - N2 \quad b01 := -N4 \cdot d1 - N3 \quad a02 := -N1 \cdot d2 \quad a11 := e^{8 \cdot i} \cdot P \cdot R \cdot d1 \quad b02 := -N4 \cdot d2 \quad b05 := -N4 \cdot d5$$

$$a12 := e^{8 \cdot i} \cdot P \cdot R \cdot d2 \quad a03 := -N1 \cdot d3 \quad b03 := -N4 \cdot d3 \quad a13 := e^{8 \cdot i} \cdot P \cdot R \cdot d3 \quad b04 := -N4 \cdot d4 \quad a05 := -N1 \cdot d5$$

$$a14 := e^{8 \cdot i} \cdot P \cdot R \cdot d4 \quad ca2 := a02 + a12 \quad ca1 := a01 + a11 \quad a15 := e^{8 \cdot i} \cdot P \cdot R \cdot d5 \quad ca4 := a04 + a14 \quad ca3 := a03 + a13$$

$$ca5 := a05 + a15 \quad b11 := e^{8 \cdot i} \cdot P \cdot R \quad sb1 := b01 + b11 \quad sb3 := b03 \quad sb4 := b04 \quad sb5 := b05$$

Интегралы типа Коши от граничных условий и их производные:

$$A0(\rho, \theta) := \frac{ca1}{\zeta(\rho, \theta)} + \frac{ca2}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{ca3}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{ca4}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{ca5}{\zeta(\rho, \theta)^5}$$

$$B0(\rho, \theta) := \frac{sb1}{\zeta(\rho, \theta)} + \frac{sb2}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{sb3}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{sb4}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{sb5}{\zeta(\rho, \theta)^5}$$

$$A01(\rho, \theta) := \frac{-ca1}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{-2 \cdot ca2}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{-3 \cdot ca3}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-4 \cdot ca4}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-5 \cdot ca5}{\zeta(\rho, \theta)^6}$$

$$A02(\rho, \theta) := \frac{2 \cdot ca1}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{6 \cdot ca2}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{12 \cdot ca3}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{20 \cdot ca4}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{30 \cdot ca5}{\zeta(\rho, \theta)^7}$$

$$A03(\rho, \theta) := \frac{-6 \cdot ca1}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-24 \cdot ca2}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-60 \cdot ca3}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{-120 \cdot ca4}{\zeta(\rho, \theta)^7} + \frac{-210 \cdot ca5}{\zeta(\rho, \theta)^8}$$

$$B01(\rho, \theta) := \frac{-sb1}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{-2 \cdot sb2}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{-3 \cdot sb3}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-4 \cdot sb4}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-5 \cdot sb5}{\zeta(\rho, \theta)^6}$$

Коэффициенты разложения полинома, получаемое при разложении дроби, числитель которого есть сопряженная функция с функцией (1), а знаменатель производная от функции (1).

$$b5 := d5 \quad b4 := d4 \quad b3 := d3 + d1 \cdot d5 \quad b2 := d2 + 2 \cdot d2 \cdot d5 + d1 \cdot d4$$

$$b1 := d1 + 3 \cdot d3 \cdot d5 + 2 \cdot d2 \cdot d4 + d1 \cdot d3 + d1 \cdot d1 \cdot d5$$

$$b0 := 4 \cdot d4 \cdot d5 + 3 \cdot d3 \cdot d4 + 2 \cdot d2 \cdot b3 + d1 \cdot b2 \quad q5 := 1 + 5 \cdot d5^2 + 4 \cdot d4^2 + 3 \cdot d3 \cdot b3 + 2 \cdot d2 \cdot b2 + d1 \cdot b1$$

$$q3 := 5 \cdot d5 \cdot b3 + 3 \cdot d3 \cdot b1 + 4 \cdot d4 \cdot b2 + 2 \cdot d2 \cdot b0 \quad q4 := 5 \cdot d5 \cdot d4 + 4 \cdot d4 \cdot b3 + 2 \cdot d2 \cdot b1 + 3 \cdot d3 \cdot b2 + d1 \cdot b0$$

$$q2 := 5 \cdot d5 \cdot b2 + 4 \cdot d4 \cdot b1 + 3 \cdot d3 \cdot b0 \quad q0 := 5 \cdot d5 \cdot b0 \quad q1 := 5 \cdot d5 \cdot b1 + 4 \cdot d4 \cdot b0 \quad bp0 := b0 \cdot e^{2 \cdot \delta \cdot i} \quad bp5 := b5 \cdot e^{2 \cdot \delta \cdot i}$$

$$bp4 := b4 \cdot e^{2 \cdot \delta \cdot i} \quad bp3 := b3 \cdot e^{2 \cdot \delta \cdot i} \quad bp2 := b2 \cdot e^{2 \cdot \delta \cdot i} \quad bp1 := b1 \cdot e^{2 \cdot \delta \cdot i} \quad qp5 := q5 \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot i} \quad qp4 := q4 \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot i}$$

$$qp3 := q3 \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot i} \quad qp0 := q0 \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot i} \quad qp2 := q2 \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot i} \quad qp1 := q1 \cdot e^{-2 \cdot \delta \cdot i}$$

Полюсы потенциалов ϕ и ψ определяются как решение системы 6 линейных алгебраических уравнений. Коэффициенты при неизвестных в этой системе комплексные постоянные.

$$M_{0,0} := 1 \quad M_{0,1} := 0 \quad M_{0,2} := 0 \quad M_{0,3} := -bp3 \quad M_{0,4} := -2 \cdot bp4 \quad M_{0,5} := -3 \cdot bp5 \quad M_{1,0} := 0 \quad M_{1,2} := 0$$

$$M_{1,3} := -bp4 \quad M_{1,4} := -2 \cdot bp5 \quad M_{1,5} := 0 \quad M_{1,1} := 1 \quad M_{2,0} := 0 \quad M_{2,2} := 1 \quad M_{2,4} := 0 \quad M_{2,5} := 0$$

$$\begin{aligned}
M_{2,1} &:= 0 & M_{2,3} &:= -bp5 & M_{3,0} &:= -bp3 & M_{3,1} &:= -2bp4 & M_{3,2} &:= -3bp5 & M_{3,3} &:= 1 & M_{3,4} &:= 0 & M_{3,5} &:= 0 \\
M_{4,0} &:= -bp4 & M_{4,5} &:= 0 & M_{4,1} &:= -2bp5 & M_{4,2} &:= 0 & M_{4,3} &:= 0 & M_{4,4} &:= 1 & M_{5,1} &:= 0 & M_{5,2} &:= 0 \\
M_{5,5} &:= 1 & M_{5,3} &:= 0 & M_{5,4} &:= 0 & M_{0,0} &:= ca1 & M_{0,1} &:= ca2 & M_{0,2} &:= ca3 & M_{0,3} &:= M_{0,0} & M_{0,4} &:= M_{0,1} & M_{0,5} &:= M_{0,2}
\end{aligned}$$

Система решена двумя методами; методом Гаусса пакета программы MATHCAD и векторной алгебры. Результаты приведены в массивах столбцов $MR := M^{-1} \cdot M0$ и столбце по одноименной имени использованной подпрограммы

$$\text{lsolve}(M, M0) = \begin{pmatrix} -5.237i \\ -0.522i \\ 0.475i \\ 5.237i \\ 0.522i \\ -0.475i \end{pmatrix} \quad MR = \begin{pmatrix} -5.237i \\ -0.522i \\ 0.475i \\ 5.237i \\ 0.522i \\ -0.475i \end{pmatrix}$$

Отсюда видно результаты двух методов идентичны.

$$\gamma_3 := b5 \cdot MR_3 \cdot e^{(2-i)\delta} \quad \gamma_1 := (b3 \cdot MR_3 + 2 \cdot b4 \cdot MR_4 + 3 \cdot b5 \cdot MR_5) \cdot e^{(2-i)\delta} \quad \gamma_2 := (b4 \cdot MR_3 + 2 \cdot b5 \cdot MR_4) \cdot e^{(2-i)\delta}$$

$$C1 := ca1 + \gamma_1 \quad C2 := ca2 + \gamma_2 \quad C3 := ca3 + \gamma_3 \quad C4 := ca4 \quad C5 := ca5$$

$$\phi(\rho, \theta) := \frac{C1}{\zeta(\rho, \theta)} + \frac{C2}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{C3}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{C4}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{C5}{\zeta(\rho, \theta)^5}$$

$$\phi_1(\rho, \theta) := \frac{-C1}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{-2 \cdot C2}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{-3 \cdot C3}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-4 \cdot C4}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{-5 \cdot C5}{\zeta(\rho, \theta)^6}$$

$$\phi_2(\rho, \theta) := \frac{2 \cdot C1}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{6 \cdot C2}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{12 \cdot C3}{\zeta(\rho, \theta)^5} + \frac{20 \cdot C4}{\zeta(\rho, \theta)^6} + \frac{30 \cdot C5}{\zeta(\rho, \theta)^7} \quad r4 := 5 \cdot C5 \cdot b2$$

$$r1 := (5 \cdot C5 \cdot b5 + 4 \cdot C4 \cdot b4 + 3 \cdot C3 \cdot b3 + 2 \cdot C2 \cdot b2) \quad r2 := (5 \cdot C5 \cdot b4 + 4 \cdot C4 \cdot b3 + 3 \cdot C3 \cdot b2) \quad r3 := (5 \cdot C5 \cdot b3 + 4 \cdot C4 \cdot b2)$$

$$RQ(\rho, \theta) := \left(\frac{r1}{\zeta(\rho, \theta)} + \frac{r2}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{r3}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{r4}{\zeta(\rho, \theta)^4} \right) \cdot e^{-(2-i)\delta}$$

$$R0p1(\rho, \theta) := \left(\frac{-r1}{\zeta(\rho, \theta)^2} + \frac{-2 \cdot r2}{\zeta(\rho, \theta)^3} + \frac{-3 \cdot r3}{\zeta(\rho, \theta)^4} + \frac{-4 \cdot r4}{\zeta(\rho, \theta)^5} \right) \cdot e^{-(2-i)\delta}$$

$$\omega d(\rho, \theta) := \zeta(\rho, \theta)^6 - d1 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 - 2 \cdot d2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 - 3 \cdot d3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 - 4 \cdot d4 \cdot \zeta(\rho, \theta) - 5 \cdot d5$$

$$\omega dp(\rho, \theta) := 6 \cdot \zeta(\rho, \theta)^5 - 4 \cdot d1 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 - 6 \cdot d2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 - 6 \cdot d3 \cdot \zeta(\rho, \theta) - 4 \cdot d4$$

$$Q(\rho, \theta) := q5 \cdot \zeta(\rho, \theta)^5 + q4 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 + q3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 + q2 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 + q1 \cdot \zeta(\rho, \theta) + q0$$

$$Qp(\rho, \theta) := 5 \cdot q5 \cdot \zeta(\rho, \theta)^4 + 4 \cdot q4 \cdot \zeta(\rho, \theta)^3 + 3 \cdot q3 \cdot \zeta(\rho, \theta)^2 + 2 \cdot q2 \cdot \zeta(\rho, \theta) + q1$$

$$f(\rho, \theta) := \left(b1 \cdot \zeta(\rho, \theta) + b0 + \frac{Q(\rho, \theta)}{\omega d(\rho, \theta)} \right) \cdot e^{-2 \cdot i \cdot \delta}$$

$$fp(\rho, \theta) := \left(b1 + \frac{Qp(\rho, \theta) \cdot \omega d(\rho, \theta) - Q(\rho, \theta) \cdot \omega dp(\rho, \theta)}{\omega d(\rho, \theta)^2} \right) \cdot e^{-2 \cdot i \cdot \delta}$$

$$\Phi(\rho, \theta) := \frac{\phi_1(\rho, \theta)}{\omega p1(\rho, \theta)} \quad \Phi p(\rho, \theta) := \frac{(\phi_2(\rho, \theta) \cdot \omega p1(\rho, \theta) - \omega d2(\rho, \theta) \cdot \phi_1(\rho, \theta))}{(\omega p1(\rho, \theta))^2}$$

$$\psi(\rho, \theta) := BQ(\rho, \theta) + RQ(\rho, \theta) - f(\rho, \theta) \cdot \phi_1(\rho, \theta)$$

$$\psi p(\rho, \theta) := B0l(\rho, \theta) + R0p1(\rho, \theta) - fp(\rho, \theta) \cdot \phi_1(\rho, \theta) - f(\rho, \theta) \cdot \phi_2(\rho, \theta) \quad \Psi(\rho, \theta) := \frac{\psi p(\rho, \theta)}{\omega p1(\rho, \theta)}$$

$$\sigma \tau(\rho, \theta) := 2 \cdot \frac{(\zeta(\rho, \theta))^2}{\rho^2} \cdot \frac{1}{\omega p1(\rho, \theta)} \cdot (\overline{\omega(\rho, \theta)} \cdot \Phi p(\rho, \theta) + \psi p(\rho, \theta)) \quad \tau p \theta b(\rho, \theta) := \frac{\text{Im}(\sigma \tau(\rho, \theta))}{2}$$

$$\sigma s1(\rho, \theta) := 4 \cdot \text{Re}(\Phi(\rho, \theta)) \quad \sigma a1(\rho, \theta) := \text{Re}(\sigma \tau(\rho, \theta)) \quad \sigma \theta b(\rho, \theta) := \frac{\sigma s1(\rho, \theta) + \sigma a1(\rho, \theta)}{2}$$

$$\sigma p b(\rho, \theta) := \frac{\sigma s1(\rho, \theta) - \sigma a1(\rho, \theta)}{2} \quad \sigma s n(\rho, \theta) := Sx + Sy$$

$$\sigma \tau n(\rho, \theta) := (Sy - Sx + 2 \cdot i \cdot Sxy) \cdot \frac{\zeta(\rho, \theta)^2}{\rho^2} \cdot \frac{\omega p1(\rho, \theta)}{\omega p1(\rho, \theta)} \quad \sigma a l n(\rho, \theta) := \text{Re}(\sigma \tau n(\rho, \theta))$$

$$\tau p \theta b n(\rho, \theta) := \frac{\text{Im}(\sigma \tau n(\rho, \theta))}{2}$$

$$\sigma p b n(\rho, \theta) := \frac{\sigma s n(\rho, \theta) - \sigma a l n(\rho, \theta)}{2} \quad \sigma \theta b n(\rho, \theta) := \frac{\sigma s n(\rho, \theta) + \sigma a l n(\rho, \theta)}{2}$$

$$\sigma p(\rho, \theta) := \sigma p b n(\rho, \theta) + \sigma p b(\rho, \theta) \quad \sigma \theta(\rho, \theta) := \sigma \theta b(\rho, \theta) + \sigma \theta b n(\rho, \theta)$$

$$\tau p \theta(\rho, \theta) := \tau p \theta b n(\rho, \theta) + \tau p \theta b(\rho, \theta)$$

$$Y2(\rho, \theta) := \text{Im}(\omega(\rho, \theta)) \quad X2(\rho, \theta) := \text{Re}(\omega(\rho, \theta)) \quad k := 1..36 \quad \theta := 0, \frac{\pi}{36}..2 \cdot \pi$$

Для контурных точек тоннеля при $Sx=10$ Мпа (горизонтальное растяжение или сжатие) два компонента напряжений равно нулю (нормальное и касательное к контуру). Другая компонента является одним из главных нормальных напряжений отлично от нуля. Об этом свидетельствует результаты численных расчетов в приведенных в таблицах этих трех компонентов напряжений. Числа 10 минус 15 степени близки машинному нулю.

$\sigma_1(1, \theta) =$	$\tau_{r\theta}(1, \theta) =$	$\sigma_\theta(1, \theta) =$
2.132 · 10 ⁸	0	36.218
0	1.865 · 10 ⁻¹⁴	35.437
1.599 · 10 ⁸	-8.438 · 10 ⁻¹⁵	33.299
-6.217 · 10 ⁸	-7.994 · 10 ⁻¹⁵	30.278
3.997 · 10 ⁸	-5.329 · 10 ⁻¹⁵	26.851
5.329 · 10 ⁸	0	23.311
3.553 · 10 ⁸	-5.329 · 10 ⁻¹⁵	19.732
6.217 · 10 ⁸	9.77 · 10 ⁻¹⁵	16.02
-7.105 · 10 ⁸	-6.217 · 10 ⁻¹⁵	12.011
1.776 · 10 ⁸	7.994 · 10 ⁻¹⁵	7.62
-1.776 · 10 ⁸	1.421 · 10 ⁻¹⁴	3.009
-1.066 · 10 ⁸	2.043 · 10 ⁻¹⁴	-1.331
0	9.77 · 10 ⁻¹⁵	-4.813
-7.105 · 10 ⁸	-5.551 · 10 ⁻¹⁵	-7.127
1.066 · 10 ⁸	-1.799 · 10 ⁻¹⁴	-8.369
...

$$X(\rho, \theta) := \operatorname{Re}(\omega(\rho, \theta)) \quad k := 0..72$$

Образуем векторных функций массивов для построения поверхностей компонентов напряжений. Первый элемент координаты x, а второй координаты y, где вычисляется одно из компонентов напряжений. Эта компонента составляет третий элемент вектора поверхности напряжений.

$$\Sigma\rho(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \sigma\rho(\rho, \theta) \end{pmatrix} \quad \Sigma\theta(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \tau\rho\theta(\rho, \theta) \end{pmatrix} \quad \Sigma\tau\theta(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \sigma\theta(\rho, \theta) \end{pmatrix}$$

$$\tau\rho\theta(\rho, \theta) := \frac{\sqrt{(\sigma\theta(\rho, \theta) - \sigma\rho(\rho, \theta))^2 + 4 \cdot (\tau\rho\theta(\rho, \theta))^2}}{2} \quad \sigma\theta(\rho, \theta) := \frac{(\sigma\theta(\rho, \theta) + \sigma\rho(\rho, \theta))}{2} - \tau\rho\theta(\rho, \theta)$$

$$\sigma\rho(\rho, \theta) := \frac{(\sigma\theta(\rho, \theta) + \sigma\rho(\rho, \theta))}{2} + \tau\rho\theta(\rho, \theta)$$

Массивы для главных компонентов напряжений:

$$\Sigma 2(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \sigma 2(\rho, \theta) \end{pmatrix} \quad \Sigma 1(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \sigma 1(\rho, \theta) \end{pmatrix} \quad \Sigma \tau\rho\theta(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \tau\rho\theta(\rho, \theta) \end{pmatrix}$$

Массивы для напряжений в декартовых координатах

$$sxy(\rho, \theta) := (\sigma\theta(\rho, \theta) - \sigma\rho(\rho, \theta) + 2 \cdot i \cdot \tau\rho\theta(\rho, \theta)) \cdot \frac{\rho^2}{\zeta(\rho, \theta)^2} \cdot \frac{\omega\rho 1(\rho, \theta)}{\omega\rho 1(\rho, \theta)} \quad \sigma xy(\rho, \theta) := \sigma 2(\rho, \theta) + \sigma 1(\rho, \theta)$$

$$\sigma xy(\rho, \theta) := \operatorname{Re}(sxy(\rho, \theta)) \quad \tau xy(\rho, \theta) := \frac{\operatorname{Im}(sxy(\rho, \theta))}{2} \quad \sigma y(\rho, \theta) := \frac{\sigma xy(\rho, \theta) + \sigma xy(\rho, \theta)}{2}$$

$$\sigma x(\rho, \theta) := \frac{\sigma xy(\rho, \theta) - \sigma xy(\rho, \theta)}{2}$$

$$\Sigma \tau xy(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \tau xy(\rho, \theta) \end{pmatrix} \quad \Sigma x(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \sigma x(\rho, \theta) \end{pmatrix} \quad \Sigma y(\rho, \theta) := \begin{pmatrix} X(\rho, \theta) \\ Y(\rho, \theta) \\ \sigma y(\rho, \theta) \end{pmatrix}$$

Рассмотрена три типа напряженного состояния вокруг туннеле. Первый случай только горизонтальное тектоническое растяжение или сжатие. Второй случай только действие напора воды. Третий случай туннель без напора.

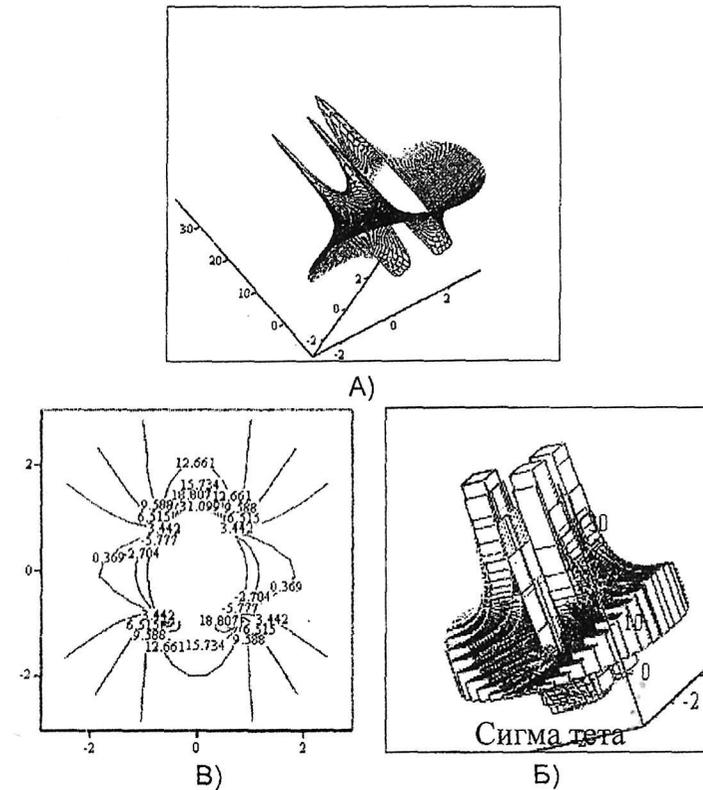


Рис.2. Поверхность А, изолиния Б и диаграмма В распределения напряжении (окружное)

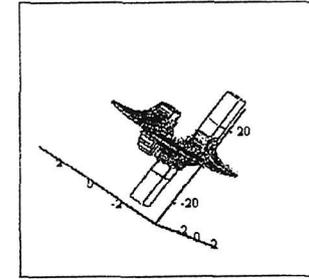
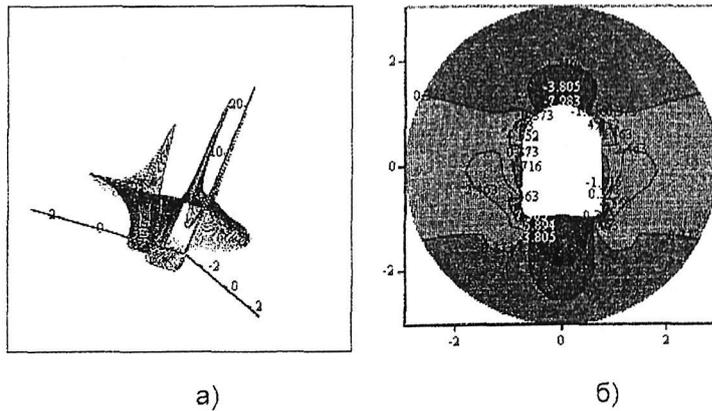
Отдельное влияние напорного давления Р на распределения напряжений представлено на рис.3. Поверхность горизонтального нормального компонента рис.3 а., изолиния вертикального

нормального компонента рис.3.б и касательного компонента напряжений соответствует при действии напора $P=-10$ Мпа.

$k := 1..36$ $\theta := 0, \frac{\pi}{36} .. 2\pi$

$\sigma_r(1, \theta) =$	$\tau_{r\theta}(1, \theta) =$	$\sigma_\theta(1, \theta) =$
-10	0	16.579
-10	$4.885 \cdot 10^{-15}$	16.294
-10	0	15.552
-10	$-1.776 \cdot 10^{-15}$	14.611
-10	$-2.665 \cdot 10^{-15}$	13.748
-10	0	13.154
-10	0	12.904
-10	0	12.952
-10	0	13.111
-10	0	13.05
-10	$5.329 \cdot 10^{-15}$	12.367
-10	$7.994 \cdot 10^{-15}$	10.81
-10	$3.553 \cdot 10^{-15}$	8.497
-10	0	5.869
-10	$-1.066 \cdot 10^{-14}$	3.388
...

Из таблицы видно, что напряжения на контуре точно удовлетворяет заданных граничных условий



в)

Рис. 3. Распределение напряжений горизонтальных (а), вертикальных (б) нормальных компонентов и касательных (в) напряжений, вычисленных в декартовых координатах.

Начальное напряженное состояние задано так, чтобы влияние напора отсутствовало.

$S_x := -20$ $S_y := -15$ $S_{xy} := 10$ $P := 0$

$\theta := 0, \frac{\pi}{36} .. 2\pi$

$\sigma_r(1, \theta) =$	$\tau_{r\theta}(1, \theta) =$	$\sigma_\theta(1, \theta) =$
$-1.243 \cdot 10^{-14}$	$-4.263 \cdot 10^{-14}$	-57.977
$2.842 \cdot 10^{-14}$	$-1.421 \cdot 10^{-14}$	-47.927
$-2.842 \cdot 10^{-14}$	$-3.73 \cdot 10^{-14}$	-37.329
$-7.105 \cdot 10^{-15}$	$7.105 \cdot 10^{-15}$	-27.261
$-2.487 \cdot 10^{-14}$	$5.329 \cdot 10^{-15}$	-18.373
0	$-1.688 \cdot 10^{-14}$	-10.846
$-2.132 \cdot 10^{-14}$	0	-4.577
$1.776 \cdot 10^{-14}$	$-2.132 \cdot 10^{-14}$	0.594
$3.553 \cdot 10^{-15}$	$1.421 \cdot 10^{-14}$	4.719
0	$-3.442 \cdot 10^{-15}$	7.656
$2.132 \cdot 10^{-14}$	$-1.155 \cdot 10^{-14}$	9.131
$3.553 \cdot 10^{-14}$	$-4.441 \cdot 10^{-15}$	8.987
$1.066 \cdot 10^{-14}$	$-9.77 \cdot 10^{-15}$	7.467
$-7.105 \cdot 10^{-15}$	$1.599 \cdot 10^{-14}$	5.157
$-3.553 \cdot 10^{-14}$	0	2.647
...

И.А. ТОРГОЕВ, Ю.Г. АЛЁШИН

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

**ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ И ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗМОЖНОГО
ПРОРЫВА МОРЕННО-ЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА ПЕТРОВА**

1. Ледниково-моренно-озёрный комплекс Петрова

Ледниково-моренно-озёрный комплекс Петрова находится на северо-западном макросклоне массива оледенения и вечной мерзлоты Ак-Шийрак в центральном Тянь-Шане (рис.1). Ледник Петрова является крупнейшим глетчером в бассейне р. Нарын (Сырдарья). В настоящее время площадь ледника составляет 69,8 км², а его длина превышает 23 км [1].

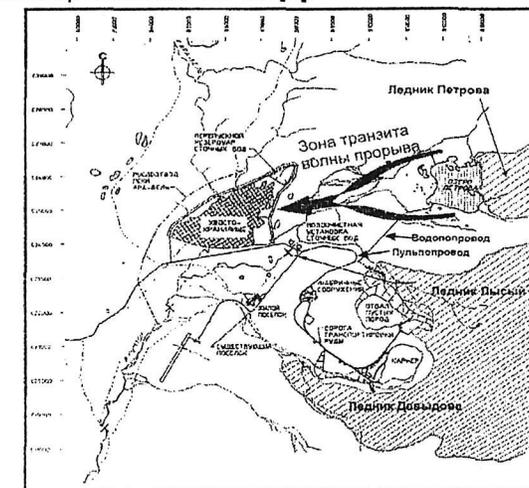


Рис.1. План-схема расположения техноенных объектов, ледников и озера Петрова в районе высокогорного рудника Кумтор с указанием возможной зоны распространения волны прорыва

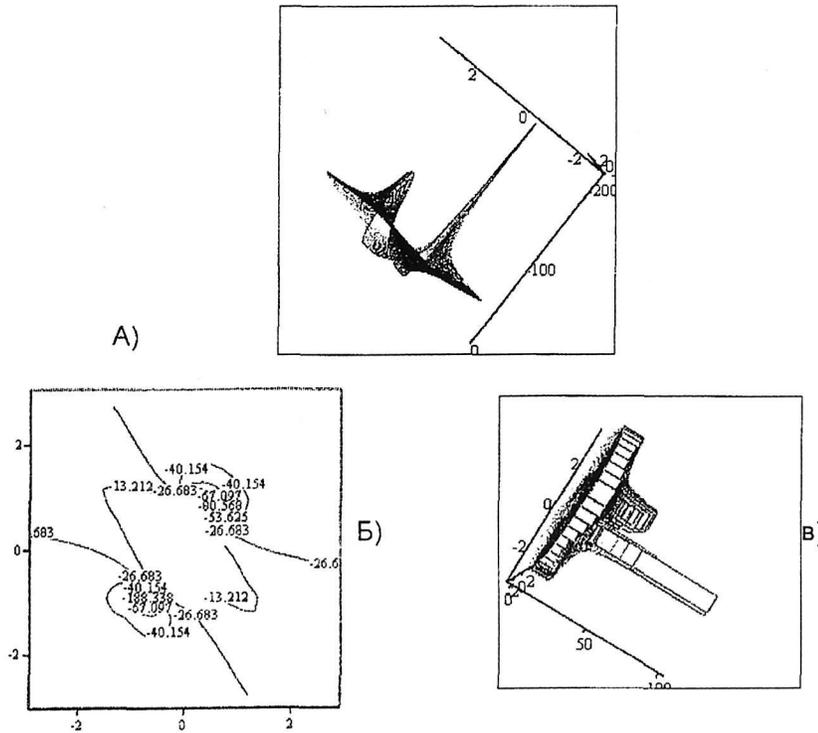


Рис 4. Распределение главных нормальных напряжений а) и Б) и максимальных касательных напряжений в) при отсутствии напора вокруг туннеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жумабаев Б., Аманалиев А.А., Ботоканова Б. О сейсмонапряженном состоянии гидротехнического туннеля в горной местности. Вестник КРСУ, том 6, №7/2006, с. 56 – 60.
2. Жумабаев Б., Аманалиев А.А., Ботоканова Б. А. Распределение напряжений вокруг напорного туннеля с эллиптическим(круглым) поперечным сечением. Современные проблемы механики сплошных сред. Вып.13/Сборник трудов Международной конференции «Проблемы геомеханики и освоения недр». Бишкек, 2011.-с. 300-309.
3. Кирянов Д. Mathad 14/-СПб.: БВХ-Петербург, 2007.-704с.

Я.И. Рудаеву-70 лет

Рудаев Яков Иссакович является одним из признанных ученых в области механики сплошных сред. Его научная деятельность связана с решением актуальных проблем механики больших пластических деформаций, в частности, сверхпластичности металлов, неподготовленной структурой, моделированию механического поведения горных пород и строительных материалов.

Его труд ученого высоко оценен научной общественностью республики и в странах зарубежья.

Свой профессиональный путь Яков Иссакович начал преподавателем Фрунзенского политехнического института, заведовал кафедрой "Механика и сопротивление материалов" Кыргызского архитектурно-строительного института (ныне КГУСТА), а ныне заведует кафедрой «Механика» КРСУ.

Самым большим его богатством являются выпускники ФПИ, КАСИ, КРСУ, среди которых есть доктора и кандидаты наук. Пять выпускников кафедры стали кандидатами наук. Под его личным руководством подготовлены и защищены две докторские и семь кандидатских диссертаций.

Мы знаем, что Рудаев Я.И. автор более 150 учебно-методических, пособий и научных работ, в том числе монография "Механика динамической сверхпластичности алюминиевых сплавов".

Яков Иссакович является действительным членом Инженерной академии Кыргызской Республики, членом Президиума Национального Комитета Кыргызской Республики по теоретической и прикладной механике.

Его жизненная позиция, принципиальность и честность позволит сохранить и приумножить научный потенциал в области фундаментальных и прикладных исследований.

Дорогому юбиляру, позвольте пожелать творческого долголетия, здоровья и благополучия.

Кожоголов К.Ч., председатель Комитета по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, член-корр. НАН КР, д.т.н., профессор

СОДЕРЖАНИЕ

стр

1.	К.Ч.КОЖОГУЛОВ, К.А.КОКУМБАЕВА Оценка напряженно-деформированного состояния склонов неоднородного сложения с учетом изменения давления воды в водохранилище	29
2.	А.А.РЕПИН, С.Е.АЛЕКСЕЕВ, В.Н.КАРПОВ Оборудование для проходки протяженных исследовательских скважин	38
3.	Ю.Г.АЛЕШИН Геолого-структурная классификация грунтов в процедурах геофизического распознавания: иерархический принцип	50
4.	К.К.АБДЫЛДАЕВ Методология исследования геомеханических процессов при открытой разработке месторождений	57
5.	В.Н.БЕЛОБОРОДОВ, А.А.РЕПИН, А.К.ТКАЧУК Разработка сейсмоисточников ударного типа для малоглубинной сейсморазведки	67
6.	Ю.Г.АЛЕШИН, И.А.ТОРГОЕВ Рациональная геолого-структурная классификация грунтов в задачах геофизического изучения оползнеопасных горных склонов	70
7.	К.Б.ТАШТАНАЛИЕВ Метод расчета напряженно-деформированного состояния столбчатых междукламерных целиков	85
8.	Б.Ц.МАНЖИКОВ Вероятностная оценка устойчивости горных склонов	91
9.	Б.ЖУМАБАЕВ, А.А.АМАНАЛИЕВ, Б.А.БОТОКАНОВА Методика и программа расчета напряжений вокруг туннелей (выработок)	102
10.	И.А.ТОРГОЕВ, Ю.Г.АЛЕШИН Оценка вероятности и последствий возможного прорыва моренно-ледникового озера Петрова	112
11.	Г.К.БОТОЛАЕВА, У.М.ТУГАНБАЕВ Засоление почв и борьба с этим пагубным явлением	129