

ISSN 2312-8089 (Print)
ISSN 2541-7851 (Online)

**ВЕСТНИК НАУКИ
И ОБРАЗОВАНИЯ**
2018. № 6 (42). Том 2



Москва
2018

Вестник науки и образования

2018. № 6 (42). Том 2

Российский импакт-фактор: 3,58

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Выходит 12 раз в
год

Издается с 2013
года

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«Проблемы науки»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: Ватъцев С.В.

Зам. главного редактора: Ефимова А.В.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Подписано в печать:
15.06.2018

Дата выхода в свет:
19.06.2018

Формат 70х100/16.
Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,96
Тираж 1 000 экз.
Заказ № 1775

Журнал
зарегистрирован
Федеральной
службой по надзору
в сфере связи,
информационных
технологий и
массовых
коммуникаций
(Роскомнадзор)
Свидетельство
ПИ № ФС77-
50633.
Сайт:
Эл № ФС77-58456

Территория
распространения:
зарубежные
страны,
Российская
Федерация

Абдуллаев К.Н. (д-р филос. по экон., Азербайджанская Республика), *Алиева В.Р.* (канд. филос. наук, Узбекистан), *Ахмедов Н.И.* (д-р экон. наук, Азербайджанская Республика), *Аликулов С.Р.* (д-р техн. наук, Узбекистан), *Анашьева Е.И.* (д-р филос. наук, Украина), *Асатурова А.В.* (канд. мед. наук, Россия), *Аскарходжаев П.А.* (канд. биол. наук, Узбекистан), *Байтасов Р.Р.* (канд. с.-х. наук, Белоруссия), *Бакико И.В.* (канд. наук по физ. воспитанию и спорту, Украина), *Басов Т.А.* (канд. фиол. наук, Россия), *Баулина М.В.* (канд. пед. наук, Россия), *Блейх Н.О.* (д-р ист. наук, канд. пед. наук, Россия), *Боброва Н.А.* (д-р юрид. наук, Россия), *Богомолов А.В.* (канд. техн. наук, Россия), *Бородай В.А.* (д-р социол. наук, Россия), *Волков А.Ю.* (д-р экон. наук, Россия), *Гавриленкова И.В.* (канд. пед. наук, Россия), *Гарагонич В.В.* (д-р ист. наук, Украина), *Глуценко А.Г.* (д-р физ.-мат. наук, Россия), *Гринченко В.А.* (канд. техн. наук, Россия), *Губарева Т.И.* (канд. юрид. наук, Россия), *Гутинкова А.В.* (канд. фиол. наук, Украина), *Датий А.В.* (д-р мед. наук, Россия), *Демчук Н.И.* (канд. экон. наук, Украина), *Дивненко О.В.* (канд. пед. наук, Россия), *Дмитриева О.А.* (д-р фиол. наук, Россия), *Доленко Г.И.* (д-р хим. наук, Россия), *Есенова К.У.* (д-р фиол. наук, Казахстан), *Жамулинов В.И.* (канд. юрид. наук, Казахстан), *Жолдошев С.Т.* (д-р мед. наук, Кыргызская Республика), *Пбадов Р.М.* (д-р физ.-мат. наук, Узбекистан), *Ильинских П.И.* (д-р биол. наук, Россия), *Кайракбаев А.К.* (канд. физ.-мат. наук, Казахстан), *Кафисава М.В.* (д-р техн. наук, Россия), *Киквидзе И.Д.* (д-р фиол. наук, Грузия), *Кобланов Ж.Т.* (канд. фиол. наук, Казахстан), *Ковалёв М.Н.* (канд. экон. наук, Белоруссия), *Крацова Т.М.* (канд. психол. наук, Казахстан), *Кузьмин С.Б.* (д-р геогр. наук, Россия), *Кузнецова Э.Г.* (д-р фиол. наук, Россия), *Курманбаева М.С.* (д-р биол. наук, Казахстан), *Куртасов К.Н.* (канд. экон. наук, Узбекистан), *Линькова-Даниельс П.А.* (канд. пед. наук, Австралия), *Лукиенко Л.В.* (д-р техн. наук, Россия), *Макаров А. Н.* (д-р фиол. наук, Россия), *Мацаренко Т.Н.* (канд. пед. наук, Россия), *Мейманов Б.К.* (д-р экон. наук, Кыргызская Республика), *Мурадов Н.О.* (д-р техн. наук, Узбекистан), *Набиев А.А.* (д-р наук по геонформ., Азербайджанская Республика), *Назаров Р.Р.* (канд. филос. наук, Узбекистан), *Наумов В. А.* (д-р техн. наук, Россия), *Овчинников Ю.Д.* (канд. техн. наук, Россия), *Петров В.О.* (д-р искусствоведения, Россия), *Раёкевич М.В.* (д-р техн. наук, Узбекистан), *Рахимбеков С.М.* (д-р техн. наук, Казахстан), *Розыходжаева Г.А.* (д-р мед. наук, Узбекистан), *Ромашенкова Ю.В.* (д-р искусствоведения, Украина), *Рубцова М.В.* (д-р социол. наук, Россия), *Румищев Д.Е.* (д-р биол. наук, Россия), *Самков А. В.* (д-р техн. наук, Россия), *Сатиков Н.И.* (канд. техн. наук, Украина), *Селитренникова Т.А.* (д-р пед. наук, Россия), *Сибирцев В.А.* (д-р экон. наук, Россия), *Скритко Т.А.* (д-р экон. наук, Украина), *Сопов А.В.* (д-р ист. наук, Россия), *Стрекалов В.П.* (д-р физ.-мат. наук, Россия), *Стукаленко П.М.* (д-р пед. наук, Казахстан), *Субачев Ю.В.* (канд. техн. наук, Россия), *Сулейманов С.Ф.* (канд. мед. наук, Узбекистан), *Тредуб И.В.* (д-р экон. наук, канд. техн. наук, Россия), *Угоров Н.В.* (канд. юрид. наук, д-р ист. наук, Россия), *Федосюкина Л.А.* (канд. экон. наук, Россия), *Хитмукина Е.Г.* (д-р филос. наук, Россия), *Цуцун С.В.* (канд. экон. наук, Республика Армения), *Чиладзе Г.Б.* (д-р юрид. наук, Грузия), *Шаминина И.Г.* (канд. пед. наук, Россия), *Шарипов М.С.* (канд. техн. наук, Узбекистан), *Шевко Д.Г.* (канд. техн. наук, Россия).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ НАПРЯЖЕННОГО И ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАПОРНОГО ТУННЕЛЯ ТРЕУГОЛЬНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Ботоканова Б.А.¹, Жумабаев Б.² Email:

Botokano642@scientifictext.ru

¹Ботоканова Бактыгул Асанкожоевна - старший преподаватель,
кафедра горного гидротехнического строительства,
Кыргызский Национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина;

²Жумабаев Бейшенбек – доктор технических наук, профессор,
кафедра механики,
Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

Аннотация: в статье анализируется прогноз распределения напряженного и деформированного состояния вокруг напорного туннеля треугольным поперечным сечением по методу Колосова-Мухелишвили [10, с. 190], разработанной в [12, с. 707; 17, с. 330-338]. Туннель проведен в массиве одиночной горы, а на контур действует гидростатический напор. Массивы одиночных гор испытывают действие объемных сил и горизонтальное тектоническое сжатие – растяжения.

В результате исследований для определения полей напряжений построена модель начального напряженного состояния массивов с горным рельефом. Модель построена в виде суммы полей напряжений. Поля напряжений являются интегралами дифференциальных уравнений равновесия при совместном действии силы гравитации, и горизонтальной тектонической силы сжатия. Второе поле напряжений характеризует влияние рельефа горы, который вместе с первым полем определяет начальное напряженное состояние массивов горы без туннеля. Создана модель напряженного и деформированного состояния безнапорного туннеля, и имеет самостоятельное значение для оценки состояний горных выработок. Третье поле возникает от действия горизонтального тектонического сжатия-растяжения. Четвёртое поле возникает от напора воды на контур туннеля.

Таким образом, принятая методика склеивания полей напряжений с помощью отображающей функции дает приближенное решение поставленной задачи, когда центр туннеля расположен в зонах высокой концентрации начального напряженного состояния горы.

Ключевые слова: гидростатический напор, деформация, конформное отображение, метод Мухелишвили, напряжения, туннель, упругость, сечение, концентрация, сжатие-растяжение, деформация.

MODELLING AND THE FORECAST OF THE STRAINED AND DEFORMED CONDITION OF THE PRESSURE HEAD TUNNEL TRIANGULAR SECTION

Botokanova B.A.¹, Zhumabaev B.²

¹Botokanova Baktigul Asankozhоеvna - Senior Lecturer,
DEPARTMENT OF THE MOUNTAIN OF HYDRAULIC ENGINEERING;

²Zhumabaev Beyshenbek - Doctor of technical sciences, Professor,
DEPARTMENT MECHANICS,
KYRGYZ-RUSSIAN SLAVIC UNIVERSITY AFTER THE NAME BORIS YELTSIN,
BISHKEK, REPUBLIC OF KYRGYZSTAN

Abstract: the article analyzes the forecast of the distribution of a stressed and deformed state around a pressure tunnel with a triangular cross section according to the Kolosov-Muskhelishvili method [10, p. 190], developed in [12, p. 707; 17, p.330-338]. The tunnel is carried out in a single mountain massif, and the hydrostatic head acts on the contour. Arrays of solitary mountains experience the effect of volumetric forces and horizontal tectonic compression - stretching.

As a result of investigations, a model of the initial stressed state of arrays with a mountain relief was constructed to determine the stress fields. The model is constructed as a sum of stress fields. The stress fields are integrals of the differential equations of equilibrium under the combined action of the force of gravity, and the horizontal tectonic compression force. The second stress field characterizes the influence of the relief of the mountain, which together with the first field determines the initial stressed state of the mountain massifs without a tunnel. A model of strained and deformed state of a pressureless tunnel is created, and has an independent value for evaluating the states of mine workings. The third field arises from the action of horizontal tectonic compression-stretching. The fourth field arises from the pressure of water on the contour of the tunnel.

Thus, the adopted technique of gluing stress fields with the help of the mapping function gives an approximate solution to the problem posed when the center of the tunnel is located in zones of high concentration of the initial stressed state of the mountain.

Keywords: hydrostatic pressure, deformation, conformal mapping, Muskhelishvili method, stresses, tunnel, elasticity, cross section, concentration, compression-stretching, deformation.

УДК 622.831(575.2) (04)

Введение. Для прогноза распределения напряжений вокруг напорных туннелей в горной местности [1, с. 184], прежде всего, необходимо знать начальное напряженное состояние горного массива в том месте, где будет размещена туннель. Это начальное напряженное состояние массива измеряется инструментально методом разгрузки в натуральных условиях в разных участках земной коры [2, с. 186; 3, с. 71-76; 4, с. 246; 5, с. 144; 6, с. 3-10] и носит иное наименование – как напряженное состояние земной коры. Для доступа к точкам измерений массива обязательно проводятся горные выработки или вскрышные горные работы, и тем самым, еще до выполнения измерений, вносятся некоторое возмущение на начальное напряженное состояние массива. Другими подходами оценки начального напряженного состояния являются математические методы моделирования [7, с. 23; 8, с. 311-314; 9, с. 54-65; 10, с. 190;], в частности, метод Колосова–Мусхелишвили [12, с. 707] с привлечением аппарата конформного отображения для учета рельефа гор [7, с. 23; 10, с. 190] и форм поперечных сечений туннелей в горных выработках [13, с. 7-55; 14, с. 212; 15, с. 272; 16, с. 272; 17, с. 330-338]. После оценки начального напряженного состояния массива для оценки состояния массивов вокруг напорных туннелей необходимо установить влияния образования туннеля на распределение напряжений и гидростатического напора на перераспределения напряжений. Ниже методом Колосова–Мусхелишвили [12, с. 707], как в работе [17, с. 330-338] будет моделирован и выполнен расчет в MATCHAD [18, с. 704] вокруг напорных туннелей с треугольным сечением.

В данной работе мы исследуем модель напряженного состояния массивов пород вокруг туннеля с треугольным поперечным сечением и создается в виде суммы полей напряжений:

$$\begin{aligned}\sigma_x^0 &= \sigma_x^n + \sigma_x^p + \sigma_x^m + \sigma_x^h \\ \sigma_y^0 &= \sigma_y^n + \sigma_y^p + \sigma_y^m + \sigma_y^h\end{aligned}$$

$$\tau_{xy}^0 = \tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m + \tau_{xy}^h \quad (1)$$

Первые компоненты в (1), интегралы от дифференциальных уравнений равновесия [1, с.184], представлены в виде:

$$\sigma_x^n = A_1 * y + T_x; \quad \sigma_y^n = A_2 y; \quad \tau_{xy}^n = A_3 y, \quad (2)$$

где $A_1 = \lambda * \gamma * (1 - k_c * \cos \delta)$; $A_2 = \gamma * (1 - k_c * \cos \delta)$; $A_3 = k_c * \gamma * \sin \delta$.

λ — коэффициент бокового распора горных пород;

γ — объемный вес горных пород;

k_c — коэффициент сейсмичности горного региона;

δ — направление действия сейсмической силы;

T_x — горизонтальная тектоническая сила.

Напряжения σ_x^p , σ_y^p , τ_{xy}^p — поле напряжений, которые характеризуют влияния рельефа горы [10, с.190], которые вместе с первым полем определяет начального напряженного состояния массивов с горы без туннеля и имеет вид:

$$\sigma_x^h = \sigma_x^n + \sigma_x^p \quad \sigma_y^h = \sigma_y^n + \sigma_y^p \quad \tau_{xy}^h = \tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p \quad (3)$$

Поля напряжений (3) на дневной поверхности массива одиночной горы удовлетворяют граничным условиям:

$$\begin{aligned} (\sigma_x^p + \sigma_x^n + T_x) * (\cos n, x) + (\tau_{xy}^p + \tau_{xy}^n) \cos(n, y) &= 0; \\ (\tau_{xy}^p + \tau_{xy}^n) \cos(n, x) + (\sigma_y^p + \sigma_y^n) \cos(n, y) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

где n — направление внешней нормали в какой-либо точке контура. Рельеф горы в разрезе представляет полуплоскость с одним криволинейным выступом. Для определения напряжений в (3) воспользуемся аппарат конформного отображения с помощью функции:

$$z = \omega(\zeta); z = x + i * y; \zeta = \xi + i * \eta; i = \sqrt{-1}; \omega(\zeta) = a * \zeta + \omega_0(\zeta); \omega_0(\zeta) = a_1 / (\zeta - i); \quad (5)$$

Присвоив значения, $a = 60$; $a_1 = 300$ м. с помощью функции (5) построена форма выступа — горы и представлена на рисунке 1.

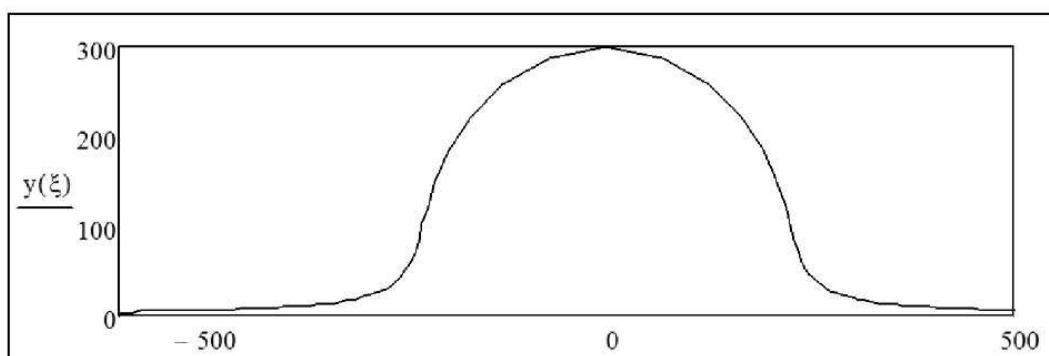


Рис. 1. Форма одиночной горы

Для определения второго поля напряжений в (3) граничные условия (4) с помощью формул в [10, с. 190]

$$\sigma_x + \sigma_y = \sigma_\xi + \sigma_\eta \quad \sigma_y - \sigma_x + 2i\tau_{xy} = (\sigma_\eta - \sigma_\xi + 2i\tau_{\xi\eta})e^{-2i\alpha}; \quad (6)$$

преобразовано в компоненты напряжений $\sigma_\xi, \sigma_\eta, \tau_{\xi\eta}$, которые выражаются функциями $\Phi(\zeta), \Psi(\zeta)$ с помощью соотношений [12, с. 707, см. пар. 92]:

$$\sigma_{\xi} + \sigma_{\eta} = 2(\Phi(\zeta) + \overline{\Phi(\zeta)})$$

$$\sigma_{\eta} - \sigma_{\xi} + 2i\tau_{\xi\eta} = 2(\overline{\omega(\zeta)}\Phi(\zeta)' + \omega(\zeta)'\Psi(\zeta)) / \overline{\omega(\zeta)'} \quad (7)$$

Функции $\Phi(\zeta)$, $\Psi(\zeta)$ являются решением граничной задачи:

$$\begin{aligned} \Phi(t)\omega(t)' + \overline{\Phi(t)}\overline{\omega(t)'} + \omega(t)\overline{\Phi(t)'} + \overline{\omega(t)'}\Psi(t) &= [N(t) - iT(t)]\omega(t)' \\ \Phi(t)\overline{\omega(t)'} + \overline{\Phi(t)}\omega(t)' + \overline{\omega(t)}\Phi(t)' + \omega(t)'\Psi(t) &= [N(t) + iT(t)]\overline{\omega(t)'} \end{aligned} \quad (8)$$

Интегралы типа Коши от граничных условий (4) имеют вид [10, с.190]:

$$\begin{aligned} \Phi(\zeta) \cdot \omega'(\zeta) + G(\zeta) &= B(\zeta) \quad G(\zeta) = -a_1 \overline{\Phi_1(t)} / [\zeta - i]; \\ \Psi(\zeta) \cdot \omega'(\zeta) + \Phi(\zeta) \cdot \overline{\omega(\zeta)} + \Phi'(\zeta) \cdot \overline{\omega'(\zeta)} - \overline{G(\zeta)} &= A(\zeta), \end{aligned} \quad (9)$$

где, обозначены интегралы для правой части уравнений через $A(\zeta)$, $B(\zeta)$:

$$A(\xi, \eta) = \omega_0(\xi, \eta) \left[T_5' + T_6 \omega_0'(\xi, \eta) \right] + T_3 C(\xi, \eta) + At(\xi, \eta) - T_6 S(\xi, \eta) \quad .$$

$$B(\xi, \eta) = T_3 \omega_0(\xi, \eta) \omega_0'(\xi, \eta) + T_2 \omega_0(\xi, \eta) + T_4 C(\xi, \eta) + Bt(\xi, \eta) - T_3 S(\xi, \eta) \quad (10)$$

В (10) обозначено:

$$At(\xi, \eta) = T_1 \omega_0'(\xi, \eta); \quad Bt(\xi, \eta) = -T_1 \omega_0'(\xi, \eta)$$

$$C(\xi, \eta) = C_1 / (\zeta - i) + C_2 / (\zeta + t_b - i)^2$$

$$S(\xi, \eta) = S_1 / (\zeta(\xi, \eta) - i) + S_2 / [\zeta(\xi, \eta) - i]^2 + S_3 / (\zeta(\xi, \eta) + t_b - i) + S_4 / [\zeta(\xi, \eta) + t_b - i]^2;$$

$$T_1 = T_x' / 2; T_2 = a(A_3 + iA_2) / 2; T_3 = i(A_1 + A_2) / 4; T_4 = -i(A_1 - A_2 + 2iA_3) / 4;$$

$$T_5 = a(-A_3 + iA_2) / 2; T_6 = -i(A_1 - A_2 - 2iA_3) / 4;$$

$$\Omega_0 = \omega_0(-i); \Omega_1 = \omega_0'(-i); C_1 = a_1 \overline{\Omega_1}; S_1 = -a_1 \overline{\Omega_1}; S_2 = -a_1 \overline{\Omega_0};$$

Для контурных точек переменная $\eta = 0$, $\zeta = t$ вычисленные значения компонентов напряжений приведены в таблице Cont. Рассмотрено совместное действие силы гравитации и тектонического сжатия T_x - 20 МПа.

Начальное напряженное состояние массива обозначим и выразим через компонентами S_x , S_y , S_{xy} . Количественные значения в зоне основания склона одиночной горы с максимальной высотой 300 метр равны S_x -30 МПа; S_y -8 МПа; S_{xy} -9 МПа.

Влияние туннеля $\sigma_x^H, \sigma_y^H, \tau_{xy}^H$ устанавливается путем решения граничной задачи для плоскости хоу с треугольным отверстием, форма которой моделируется с помощью отображающей функции:

$$z = \omega(\zeta); \quad i = \sqrt{-1}; \quad \zeta = \rho e^{i\theta}. \quad \omega(\zeta) = e^{i\delta} R[\zeta + \omega_0(\zeta)]; \quad \omega_0(\zeta) = d_1/\zeta + d_2\zeta^2; \quad (11)$$

Здесь, $0 \leq \rho \leq \infty$ ось положительных чисел; $0 \leq \theta \leq 2\pi$ - в радианах.

R – коэффициент масштаба отверстия; δ – параметр (в радианах) для задания ориентации отверстия относительно горизонтальной оси; Вариация постоянных d_1 и d_2 позволяет рассматривать разных треугольных сечений тоннелей (см. рисунок 2)

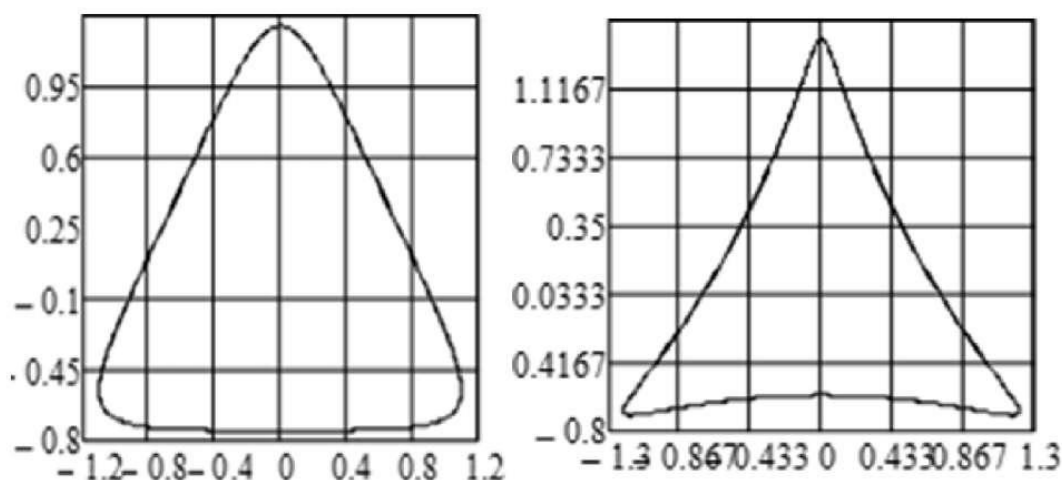


Рис. 2. Формы сечений туннелей с треугольным сечением

Сумма первых трех полей напряжений в контурных точках туннеля удовлетворяет граничного условия:

$$\begin{aligned} (\sigma_x^p + \sigma_x^n + T_x + \sigma_x^m) * (\cos n, x) + (\tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m) \cos(n, y) &= 0; \\ (\tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m) \cos(n, x) + (\sigma_y^n + \sigma_y^p + \sigma_y^m) \cos(n, y) &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

При отображении типа (11) угол α между оси ox и касательной кривой ρ определяется формулой

$$e^{2i\alpha} = \zeta^2 \omega'(\zeta) / (\rho^2 \overline{\omega'(\zeta)}) \quad e^{-2i\alpha} = \bar{\zeta}^2 \overline{\omega'(\zeta)} / (\rho^2 \omega'(\zeta)) \quad (13)$$

Условие (12) в преобразованной плоскости (см. рис. 2) новых переменных (11) и (13) принимает вид [12, с.707]:

$$\begin{aligned} [R\Gamma\sigma + \varphi(\sigma)] + [R\bar{\Gamma} + \overline{\varphi'(\sigma)}] * [\omega(\sigma) / \overline{\omega'(\sigma)}] + [R\Gamma'\sigma + \psi(\sigma)] &= 0; \\ [\overline{R\Gamma\sigma + \varphi(\sigma)}] + [R\Gamma + \varphi'(\sigma)] * [\overline{\omega(\sigma)} / \omega'(\sigma)] + [R\Gamma'\sigma + \psi(\sigma)] &= 0; \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь обозначено так же в [1, с. 184]:

$$\Gamma = (S_x + S_y) / 4; \quad \Gamma' = (S_y - S_x + 2iS_{xy}) / 2; \quad \bar{\Gamma} = (S_y - S_x - 2iS_{xy}) / 2;$$

Эти постоянные введены в [12, с.707] для обозначения однородного начального напряженного состояния S_x, S_y, S_{xy} в центре треугольного отверстия, где размещено начало оси координат нового вспомогательного переменного $\zeta = \rho e^{i\theta}$. Функции $\varphi(\zeta), \psi(\zeta)$ определено для внешности единичной окружности, где $\rho = 1$ контурные точки этой окружности обозначены $\zeta = \sigma = e^{i\theta}$ и $\bar{\zeta} = \bar{\sigma} = e^{-i\theta}$.

Отношения $\omega(\sigma) / \overline{\omega'(\sigma)}$ и $\overline{\omega(\sigma)} / \omega'(\sigma)$ разлагаются на простые выражения

$$\begin{aligned} \overline{\omega(\sigma)} / \omega'(\sigma) &= e^{-2i\delta} [b_2\sigma^2 + b_1\sigma + b_0 + f_1]; \\ f_1(\sigma) &= [q_2\sigma^2 + q_1\sigma + q_0] / [\sigma^3 - d_1\sigma - 2d_2] \end{aligned}$$

$$\omega(\sigma)/\overline{\omega'(\sigma)} = e^{2i\delta} [b_2/\sigma^2 + b_1/\sigma + b_0 + f_2]$$

$$f_2(\sigma) = [q_2\sigma^3 + q_1\sigma^2 + q_0\sigma] / [1 - d_1\sigma^2 - 2d_2\sigma^3]$$

$$b_2 = d_2; b_1 = d_1; b_0 = d_1d_2; q_0 = 2d_1d_2^2; q_1 = 2d_2b_1 + d_1^2; q_2 = 1 + 2d_2b_2 + d_1b_1;$$

Интегралы типа Коши от заданных граничных условий (14) определяют искомым функций $\varphi(\zeta), \psi(\zeta)$. Когда на контур туннеля действует гидростатический напор (P_0) необходимо решать граничную задачу по определению функций $\varphi(\zeta), \psi(\zeta)$ из условий:

$$\varphi(\sigma) + \overline{\varphi'(\sigma)} * [\omega(\sigma)/\overline{\omega'(\sigma)}] + \overline{\psi(\sigma)} = -P_0R\omega(\sigma);$$

$$\overline{\varphi(\sigma)} + \varphi'(\sigma) * [\overline{\omega(\sigma)/\omega'(\sigma)}] + \psi(\sigma) = -P_0R\overline{\omega(\sigma)}. \quad (15)$$

Соотношения для определения функций $\varphi(\zeta), \psi(\zeta)$ из граничных условий (14) и (15) идентичны и поэтому рационально объединение в виде суммы для постоянных коэффициентов явно заданных в (14) и (15).

$$N_1 = Re^{i\delta}(S_x + S_y)/4; \quad N_2 = Re^{-i\delta}(S_y - S_x + 2iS_{xy})/2; \quad N_3 = \overline{N_1}; \quad N_4 = \overline{N_2};$$

$$a_{01} = -N_1d_1 - N_3; \quad a_{02} = -N_1d_2; \quad b_{01} = -N_4d_1 - N_2; \quad b_{02} = -N_4d_2; \quad a_{11} = e^{i\delta}P_0Rd_1; \quad a_{12} = e^{i\delta}P_0Rd_2;$$

$$b_{11} = P_0Re^{-i\delta}; \quad sb_1 = b_{01} + b_{11}; \quad sb_2 = b_{02}; \quad ca_1 = a_{01} + a_{11}; \quad ca_2 = a_{02} + a_{12};$$

Интегралы типа Коши от граничных условий в (14) и (15) имеет вид:

$$\varphi(\zeta) = A_0(\zeta); \quad \varphi'(\zeta) * [\overline{\omega(\zeta)/\omega'(\zeta)}] + \psi(\zeta) = B_0(\zeta); \quad (19)$$

$$A_0(\zeta) = \sum_{k=1}^2 C_k \zeta^{-k}; \quad B_0(\zeta) = \sum_{k=1}^{2h} sb_k \zeta^{-k};$$

Для разложений в отношениях $\omega(\sigma)/\overline{\omega'(\sigma)}$ и $\overline{\omega(\sigma)/\omega'(\sigma)}$ вводим новые обозначения:

$$bp0 = b_0e^{2i\delta}; \quad bp1 = b_1e^{2i\delta}; \quad bp2 = b_2e^{2i\delta}; \quad qp0 = q_0e^{-2i\delta}; \quad qp1 = q_1e^{-2i\delta};$$

$$qp2 = q_2e^{-2i\delta};$$

Соотношения для функций:

$$R_0(\zeta) = r_1/\zeta^{-1}; \quad Q(\zeta) = (\sum_{k=0}^2 q_k \zeta^k); \quad f(\zeta) = (b_1\zeta + b_0 + Q(\zeta)/\omega d(\zeta)); \quad \omega d(\zeta) = \zeta^3 - d_1\zeta - 2d_2;$$

$$\psi(\zeta) = B_0(\zeta) + R_0(\zeta) - f(\zeta)\varphi'(\zeta) \quad r_1 = 2C_2b_2;$$

$$\Phi(\zeta) = \varphi'(\zeta)/\omega'(\zeta); \quad \Psi(\zeta) = \psi'(\zeta)/\omega'(\zeta); \quad \Phi'(\zeta) = (\varphi''(\zeta)\omega'(\zeta) - \varphi'(\zeta)\omega''(\zeta))/\omega'(\zeta)^2$$

Сумма первых трех полей напряжений в системе криволинейных координат, где для контурных точек туннеля при $\rho = 1$, представлены в таблице 1 для каждого компонента напряжений. Суммарное поле напряжений в (1), когда напор $P_0 = 25 \text{ МПа}$, для контурных точек туннеля представлено в таблице 2.

Таблица 1. Напряжения в контурных точках без напорного туннеля

$\sigma_r(1, \theta)$	$\sigma_\theta(1, \theta)$	$\tau_r(1, \theta)$
$-1.776 \cdot 10^{15}$	- 202	$- 2.132 \cdot 10^{-14}$
$3.126 \cdot 10^{13}$	- 203.241	$8.971 \cdot 10^{-14}$
$-1.954 \cdot 10^{14}$	- 165.686	$-3.997 \cdot 10^{-14}$
$- 4.441 \cdot 10^{14}$	- 125.28	$7.105 \cdot 10^{-15}$
$1.066 \cdot 10^{14}$	- 94.439	$8.882 \cdot 10^{-15}$
$1.421 \cdot 10^{14}$	- 72.669	0
$1.954 \cdot 10^{14}$	- 57.299	$1.066 \cdot 10^{-14}$
$-1.243 \cdot 10^{14}$	- 46.182	0
$3.553 \cdot 10^{15}$	- 37.892	$- 3.553 \cdot 10^{-15}$
$-1.421 \cdot 10^{14}$	- 31.512	$- 5.329 \cdot 10^{-15}$
0	- 26.446	$-1.776 \cdot 10^{15}$
$- 3.553 \cdot 10^{15}$	- 22.296	$- 5.329 \cdot 10^{-15}$
$3.553 \cdot 10^{15}$	-18.785	0
$- 3.553 \cdot 10^{15}$	- 15.709	$8.882 \cdot 10^{-15}$
$3.553 \cdot 10^{15}$	- 12.913	$3.553 \cdot 10^{-15}$

В рамках закона Гука [12, с. 707] вычислены компоненты напряжений и относительных деформаций при значении модуля Юнга $E = 1,71 \cdot 10^4$ МПа и коэффициента Пуассона $\nu = 0,3$, с учетом напора и без учета напора. Результаты полученных исследований представлены на рисунках 3-4.

Таблица 2. Напряжения в контурных точках напорного туннеля

$\sigma_r(1, \theta)$	$\sigma_\theta(1, \theta)$	$\tau_r(1, \theta)$
- 25	- 77	$-2.487 \cdot 10^{-14}$
- 25	- 96.233	$-4.707 \cdot 10^{-14}$
- 25	- 93.023	$3.375 \cdot 10^{-14}$
- 25	- 81.205	$2.132 \cdot 10^{-14}$
- 25	- 69.439	$-1.776 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 59.836	$1.776 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 52.299	$5.329 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 46.329	$7.105 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 41.463	$1.776 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 37.351	0
- 25	- 33.724	$-1.776 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 30.373	$-5.329 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 27.118	$1.776 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 23.786	$7.105 \cdot 10^{-15}$
- 25	- 20.191	$3.553 \cdot 10^{-15}$

ВЫВОДЫ

Начальное напряженное состояние одиночной горы, ранее в работе [8, с. 311-314] моделировано при действии гравитационных сил. Здесь дополнительно в [8, с. 311-314] учтено горизонтальное тектоническое сжатие - растяжение.

Модель напряженного и деформированного состояния безнапорного туннеля имеет самостоятельное значение для оценки состояний горных выработок.

Принятая методика склеивания полей напряжений с помощью отображений типа (5) и (11) вообще дает приближенное решение поставленной задачи, если центр туннеля

расположен в зонах высокой концентрации начального напряженного состояния горы. Когда начальное напряженное состояние горы в пределах центра туннеля.

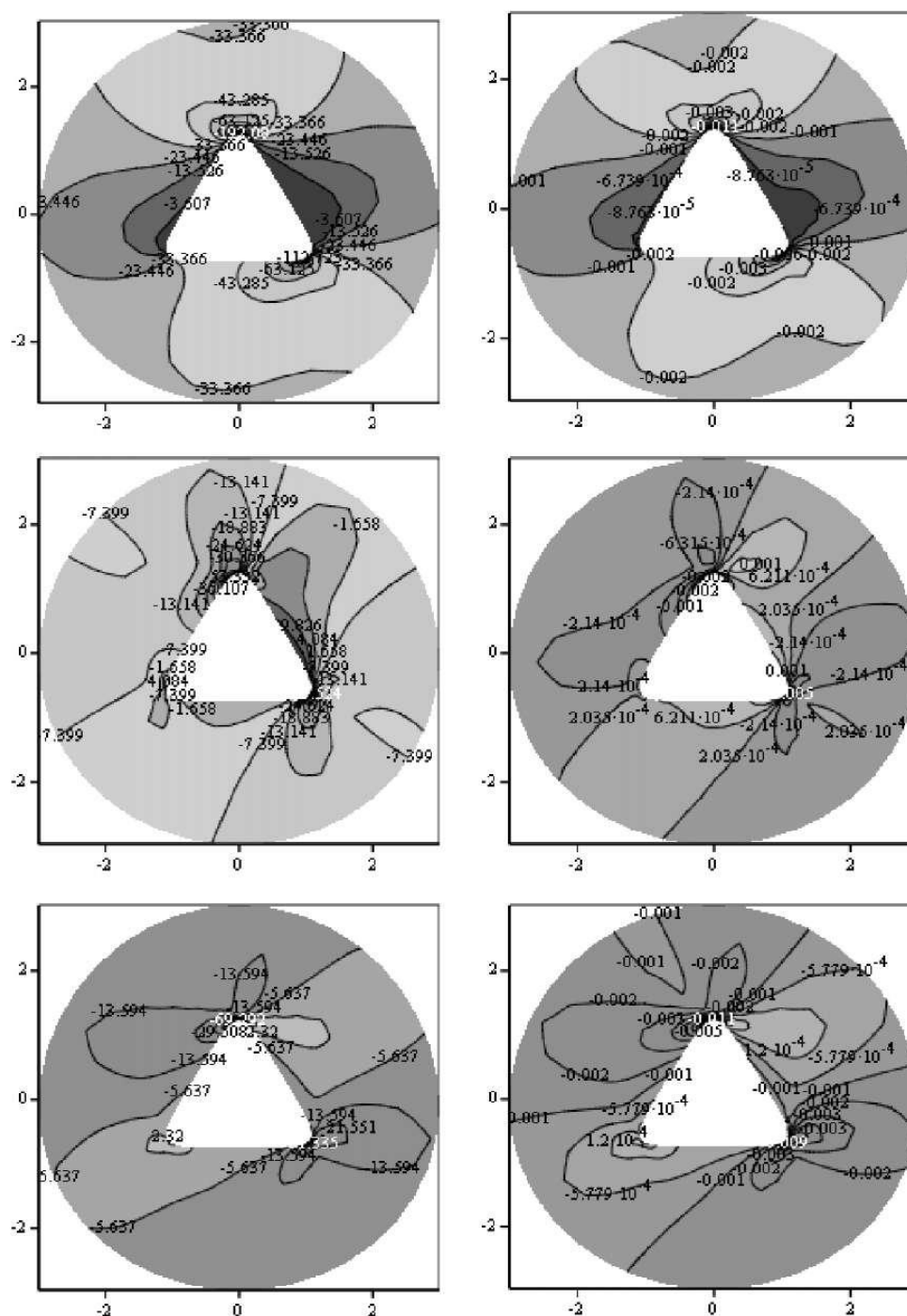


Рис. 3. Распределение напряжений и деформаций вокруг туннеля без напора

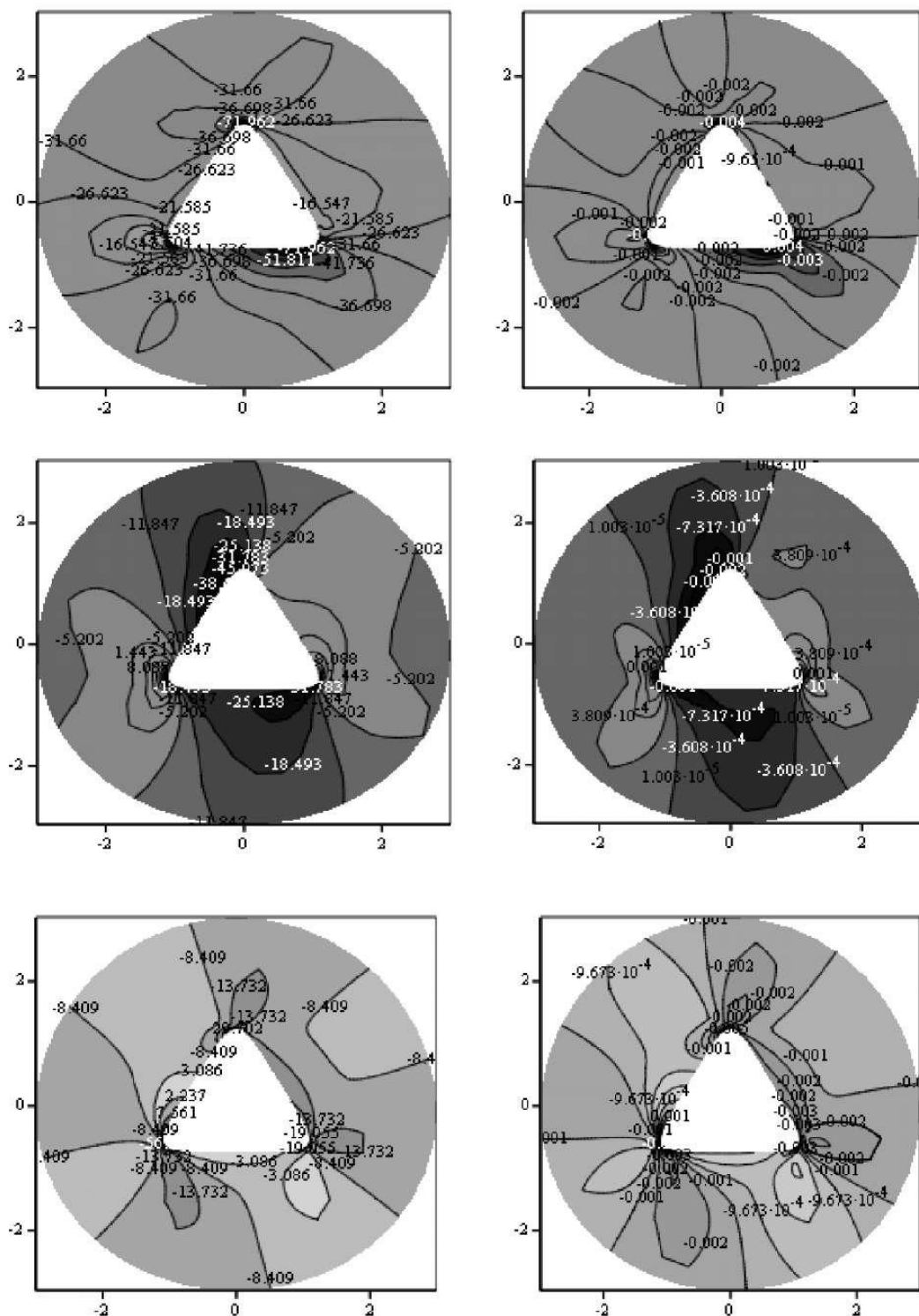


Рис. 4. Распределение напряжений и деформаций вокруг туннеля с напором

Отсюда видно, что распределение напряжений и деформаций вокруг туннеля с напором изменяется слабо, значит, построенная модель напряженного состояния массивов туннеля позволяет оценить это почти точно. При этом величина допущенной погрешности граничных условий (4), (14) и (15) не более чем 10^{-14} .

Список литературы / References

1. Рельеф горных стран. М.: Мысль, 1968. 184 с.
2. Напряженное состояние земной коры. М.: Наука, 1973. 186 с.

3. Кутепов В.М. Результаты исследований естественных напряжений в массивах трещиноватых пород горных склонов. Вестник МГУ. Сер. Геология. №6, 1966. С. 71-76.
4. Айтматов И.Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Фрунзе, 1984. 246 с.
5. Крупеников Г.А., Филатов И.А., Амузин Б.З., Барковский В.М. Распределение напряжений в породных массивах. М.: Недра, 1972. 144 с.
6. Hast N. Stress Fields Fracture System and the Mechanism for Movements in Greiss Area of the Mont Blanc Massif. Roch Mechanica Supplementum, 1980. 9. P. 3-10.
7. Ахпателов Д.М. Исследование напряженного состояния массивов горных пород в поле гравитации: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1972. 23 с.
8. Тер-Мартirosян З.Г., Ахпателов Д.М. Напряженное состояние горных массивов в поле гравитации / ДАН СССР. 1976.-Т220. № 2. С. 311-314.
9. Гольдштейн Р.В., Калинин Э.В. Опыт применения аналитического метода для оценки напряженного состояния массива горных пород в бортах и основании глубоких речных долин. Вестник МГУ. Серия Геология. № 5. С. 54-65.
10. Жумабаев Б. Распределение напряжений в массивах пород с гористым рельефом. Фрунзе: Илим. 1988. 190 с.
11. Jumbabaev B.J., Ismailova K.D. Durability of Dams and Protection of Land Stock from Mud-Torrents and Floods in Mountain Regions. PROCEEDINGS OF THE 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM HIGH MOUNTAIN REMOTE SENSING CARTOGRAPHY. Institute for Cartography Dresden University of Technology. Germany, 2004.
12. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 707 с.
13. Динник А.Н. и другие. Распределение напряжений вокруг подземных выработок. / Труды совещания по управлению горным давлением. М.: Изд-во АН СССР, 1938. 7-55 с.
14. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масаков Ж.К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в анизотропном слоистом массиве. Алма-Ата: Наука, 1980. 212 с.
15. Авершин С.Г., Балалаева С.А., Груздев В.Н. Распределение напряжений вокруг горных выработок. Фрунзе: Илим, 1971. 130 с.
16. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. М.: Недра. 1982. 272 с.
17. Жумабаев Б., Аманалиев А.А., Ботокапова Б.А. Распределение напряжений вокруг напорного туннеля с эллиптическим (круглым) поперечным сечением // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып. 13, Бишкек, 2011. С. 330-338.
18. Кирьянов Д. MATCAD № 14 в подлиннике. СПб. БВХ-Петербург, 2007. 704 с.