

European Journal of Technical and Natural Sciences

Nº 3 2018

European Journal of Technical and Natural Sciences

Scientific journal

Nº 3 2018

ISSN 2414-2352

Editor-in-chief Hong Han, China, Doctor of Engineering Sciences

International editorial board

Andronov Vladimir Anatolyevich, Ukraine, Doctor of Engineering Sciences
Bestugin Alexander Roaldovich, Russia, Doctor of Engineering Sciences
S.R. Boselin Prabhu, India, Doctor of Engineering Sciences
Frolova Tatiana Vladimirovna, Ukraine, Doctor of Medicine
Inoyatova Flora Ilyasovna, Uzbekistan, Doctor of Medicine
Kambur Maria Dmitrievna, Ukraine, Doctor of Veterinary Medicine
Kurdzeka Aliaksandr, Russia, Doctor of Veterinary Medicine
Khentov Viktor Yakovlevich, Russia, Doctor of Chemistry
Kushaliyev Kaisar Zhalitovich, Kazakhstan, Doctor of Veterinary Medicine
Mambetullaeva Svetlana Mirzamaturovna, Uzbekistan, Doctor of Biological Sciences
Manasaryan Grigoriy Genriyovich, Armenia, Doctor of Engineering Sciences
Martirosyan Vilen Akopovna, Armenia, Doctor of Engineering Sciences
Miryuk Olga Alexandrovna, Kazakhstan, Doctor of Engineering Sciences
Nagiye Polad Yusif, Azerbaijan, Ph.D. of Agricultural Sciences
Nemikin Alexey Andreevich, Russia, Ph.D. of Agricultural Sciences
Nenko Nataliya Ivanovna, Russia, Doctor of Agricultural Sciences

Ogirko Igor Vasilievich, Ukraine, Doctor of Engineering Sciences
Platov Sergey Iosifovich, Russia, Doctor of Engineering Sciences
Rayiha Amenzade, Azerbaijan, Doctor of architecture
Shakhova Irina Aleksandrovna, Uzbekistan, Doctor of Medicine
Skopin Pavel Igorevich, Russia, Doctor of Medicine
Suleymanov Suleyman Fayzullaevich, Uzbekistan, Ph.D. of Medicine
Tegza Alexandra Alexeevna, Kazakhstan, Doctor of Veterinary Medicine
Zamazay Andrey Anatolievich, Ukraine, Doctor of Veterinary Medicine
Zhanadilov Shaizinda, Uzbekistan, Doctor of Medicine

Proofreading

Kristin Theissen

Cover design

Andreas Vogel

Additional design

Stephan Friedman

Editorial office

Premier Publishing s.r.o. Praha 8
– Karlín, Lyčkovo nám. 508/7, PSČ 18600

E-mail:

pub@ppublishing.org

Homepage:

ppublishing.org

European Journal of Technical and Natural Sciences is an international, German/English/Russian language, peer-reviewed journal. It is published bimonthly with circulation of 1000 copies.

The decisive criterion for accepting a manuscript for publication is scientific quality. All research articles published in this journal have undergone a rigorous peer review. Based on initial screening by the editors, each paper is anonymized and reviewed by at least two anonymous referees. Recommending the articles for publishing, the reviewers confirm that in their opinion the submitted article contains important or new scientific results.

Premier Publishing s.r.o. is not responsible for the stylistic content of the article. The responsibility for the stylistic content lies on an author of an article.

Instructions for authors

Full instructions for manuscript preparation and submission can be found through the Premier Publishing s.r.o. home page at: <http://www.ppublishing.org>.

Material disclaimer

The opinions expressed in the conference proceedings do not necessarily reflect those of the Premier Publishing s.r.o., the editor, the editorial board, or the organization to which the authors are affiliated.

Premier Publishing s.r.o. is not responsible for the stylistic content of the article. The responsibility for the stylistic content lies on an author of an article.

Included to the open access repositories:



© Premier Publishing s.r.o.

All rights reserved; no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission of the Publisher.

Typeset in Berling by Ziegler Buchdruckerei, Linz, Austria.

Printed by Premier Publishing s.r.o., Vienna, Austria on acid-free paper.

Section 4. Technical science

*Botokanova Baktigul Asankozhоеvna,
senior lecturer, department of the Mountain
of hydraulic engineering of the
Kyrgyz National Agrarian University
named after K. I. Scryabin, Bishkek,
E-mail: b993344@ mail.ru*

*Zhumabaev Beyshenbek,
doctor, of technical sciences,
professor of the department "Mechanics"
Kyrgyz-Russian Slavik University
named after B. Yeltsin, Bishkek*

CALCULATION OF STRESSES AND DEFORMATIONS OF ARRAYS AROUND A PRESSURE TUNNEL WITH A TRAPEZOIDAL SECTION

Abstract: In this paper, the Kolosov-Muskhelishvili [17] method and the technique developed in [3–6, 8–12, 16] the paper are used to predict the distribution of strained and deformed states around a pressure tunnel with a trapezoidal cross section. The tunnel is carried out in an array, near the slope of a single mountain, where hydrostatic head acts on the contour.

Keywords: hydrostatic head, deformation, conformal mapping, Muskhelishvili method, stresses, tunnel, elasticity, cross section, trapezoid shape.

*Ботоканова Бактыгул Асанкожоевна,
ст.преподаватель кафедры,
Горного гидротехнического строительства
Кыргызский Национальный аграрный университет
им. К. И. Скрябина, г. Бишкек,
E-mail: b993344@ mail.ru*

*Жумабаев Бейшенбек,
доктор, технических наук, профессор кафедры "Механика"
Кыргызско-Российский Славянский университет
им. Б. Н. Ельцина, г. Бишкек*

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МАССИВОВ ВОКРУГ НАПОРНОГО ТУННЕЛЯ ТРАПЕЦИЕВИДНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Аннотация: В данной статье методом Колосова-Мусхелишвили [17] и разработанной в [3–6, 8–12, 16] методикой выполнен прогноз распределения, напряженного и деформированного

состояний вокруг напорного туннеля трапециевидным поперечным сечением. Туннель проведена в массиве, в близи склона одиночной горы, где на контур действует гидростатический напор.

Ключевые слова: гидростатический напор, деформация, конформное отображение, метод Мухелишвили, напряжения, туннель, упругость, поперечное сечение, трапециевидная форма.

Введение. Распределение напряжений вокруг напорных туннелей формируется из таких полей напряжений, как: начальное напряженное состояние массива горы без туннеля; поле напряжений в результате образование туннеля в массиве с начальным напряженным состоянием и поле напряжений возникающей от напора воды на контур туннеля.

Начальное напряженное состояние массива горы определяется двумя путями. Первый путь измерение методом «разгрузки» величины начального напряженного состояния массивов [1, 13, 14, 17, 19] в натурных условиях. Второй путь метод математического моделирование [2, 5–7; 10, 11, 18] для напряжений о влиянии образовании туннеля и гидростатического напора, где целесообразно применить метод Колосова – Мухелишвили [16] с привлечением конформного отображения, как это широко используется для расчета горных выработок и концентрации напряжений около отверстий. Использование программного комплекса MATCHAD [10] упрощает выполнения расчетов полей напряжений и деформаций вокруг туннеля с графическим представлением с помощью ЭВМ.

Модель напряженного состояния массивов пород вокруг туннеля создается в виде суммы полей напряжений [12]:

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

Интегралы от дифференциальных уравнений равновесия в (1) представлены в виде [10]:

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

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

Напряжения $\sigma_x^p, \sigma_y^p, \tau_{xy}^p$ – поле напряжений, которые характеризуют влияния рельефа горы [10]. Для определения этого второго поля напряжений в (1)

сначала построим модель начального напряженного состояния массивов с горным рельефом в виде:

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

Поле напряжений (3) на дневной поверхности массива горы с почти вертикальным склоном удовлетворяют граничные условия:

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

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

Рельеф горы в разрезе представляет полуплоскость с одним криволинейным выступом, где его левый склон примыкает почти перпендикулярно с основанием. Для определения напряжений в (4) воспользуемся аппаратом конформного отображения с помощью функции:

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

Присвоив численные значения параметров, $a = 100$; $a_1 = 600 + 150i$ м. с помощью функции (5) построена модель формы горы и представлена на (рис. 1).

Интегралы от граничного условия в (5) определены функции [10]:

$$\Phi(\zeta) * \omega'(\zeta) + G(\zeta) = B(\zeta) \quad G(\zeta) = -a_1 \overline{\Phi_1(i)} / [\zeta - i]; \\ \Psi(\zeta) * \omega'(\zeta) + \Phi(\zeta) * \overline{\omega'(\zeta)} + \Phi'(\zeta) * \overline{\omega'(\zeta)} - \overline{G(\zeta)} = A(\zeta), \quad (6)$$

через которые выражается второе поле напряжений в (5) с помощью формул [16]:

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

В (7) обозначены:

$$A(\xi, \eta) = \omega_0(\xi, \eta) \left[T_5 + T_6 \omega_0'(\xi, \eta) \right] + \\ + T_3 C(\xi, \eta) + A t(\xi, \eta) - T_6 S(\xi, \eta)$$

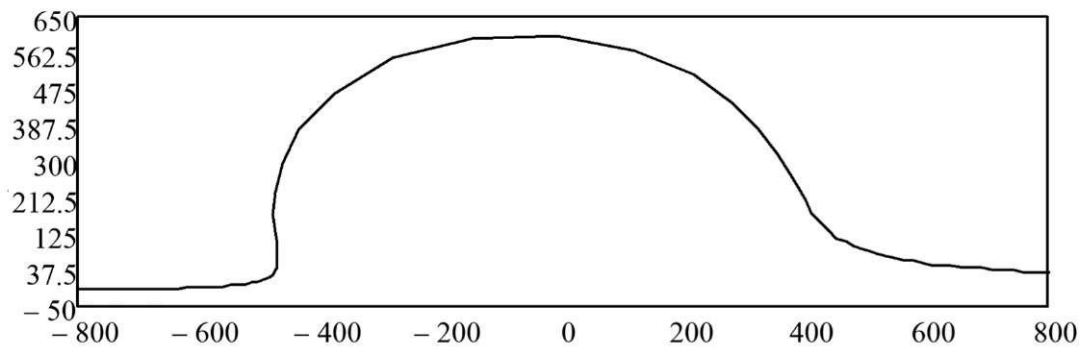


Рисунок 1. Форма горы с вертикальным склоном

$$B(\xi, \eta) = T_3 \omega_0(\xi, \eta) \omega_0'(\xi, \eta) + T_2 \omega_0(\xi, \eta) + T_4 C(\xi, \eta) + Bt(\xi, \eta) - T_3 S(\xi, \eta) \quad (8)$$

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

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

$$S(\xi, \eta) = S_1 / (\zeta(\xi, \eta) - i) +$$

$$+ S_2 / [\zeta(\xi, \eta) - i]^2 + S_3 / (\zeta(\xi, \eta) + t_b - i) +$$

$$+ S_4 / [\zeta(\xi, \eta) + t_b - i]^2;$$

$$T_1 = T_x / 2; \quad T_2 = a(A_3 + iA_2) / 2;$$

$$T_3 = i(A_1 + A_2) / 4;$$

$$T_4 = -i(A_1 - A_2 + 2iA_3) / 4;$$

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

$$\Omega_0 = \omega_0(-i); \quad \Omega_1 = \omega_0'(-i);$$

$$C_1 = a_1 \overline{\Omega_1}; \quad S_1 = -a_1 \overline{\Omega_1}; \quad S_2 = -a_1 \overline{\Omega_0};$$

Присвоив значения силовых параметров, $\lambda = 0,5$; $T_x = -20 \text{ МПа}$; $K_c = 0$ выполненные результаты расчета напряжений начального состояния горы представлены в (табл. 1) для контурных точек горы и на (рис. 2) в виде изолиний для зоны сопряжения склона с его основанием.

Таблица 1. – Значения напряжений на контуре склона горы

0	t	x	y	σ_1	σ_2	N	T	T_{max}
1.	-5	-621.2	-5.8	0	-33.7	$2.1 \cdot 10^{-15}$	$2.4 \cdot 10^{-15}$	-33.4
2.	-4	-550	0	0	-46.3	0	0	-43
3.	-3	-495	15	0	-81.5	$7.1 \cdot 10^{-15}$	$3.6 \cdot 10^{-15}$	-22.5
4.	-1	-470	60	$3.6 \cdot 10^{-15}$	-32.7	$6.4 \cdot 10^{-15}$	$1.3 \cdot 10^{-14}$	-32.4
5.	0	-475	225	0	-2.3	0	0	-2.2
6.	1	-150	600	$2.2 \cdot 10^{-15}$	-0.5	$2.2 \cdot 10^{-15}$	0	-0.4
7.	2	325	375	$4.6 \cdot 10^{-15}$	-1.9	$4.4 \cdot 10^{-15}$	$2.1 \cdot 10^{-15}$	-0.5
8.	3	410	180	$4.4 \cdot 10^{-15}$	-13.8	$4.4 \cdot 10^{-15}$	$4.4 \cdot 10^{-15}$	-5.9
9.	4	495	105	0	-34.9	0	$3.1 \cdot 10^{-15}$	-1.9
10.	5	532.4	70.6	0	-35	0	0	-22.3

Концентрация всех компонентов напряжений имеет место в зоне сопряжения вертикального склона горы с его основанием. Максимальное значение горизонтального нормального напряжения равно -82 МПа; вертикального равно -32 МПа; касательного равно -17 МПа. При удалении от

зоны концентрации напряжений на расстоянии более 50 м горизонтальная компонента не более -40 МПа; вертикальная не более -21 МПа;

Зоны концентрации напряжений, где начальное напряженное состояние массива горы изменяется незначительно. Обозначим через S_x, S_y, S_{xy}

вычисленные значения компонентов начального напряженного состояния массива в центре воображаемого туннеля. На основании представ-

ной на (рис. 2) поле напряжений для выполнения дальнейших расчетов принимаем соответственно $S_x = -40 \text{ МПа}$; $S_y = -20 \text{ МПа}$; $S_{xy} = -10 \text{ МПа}$.

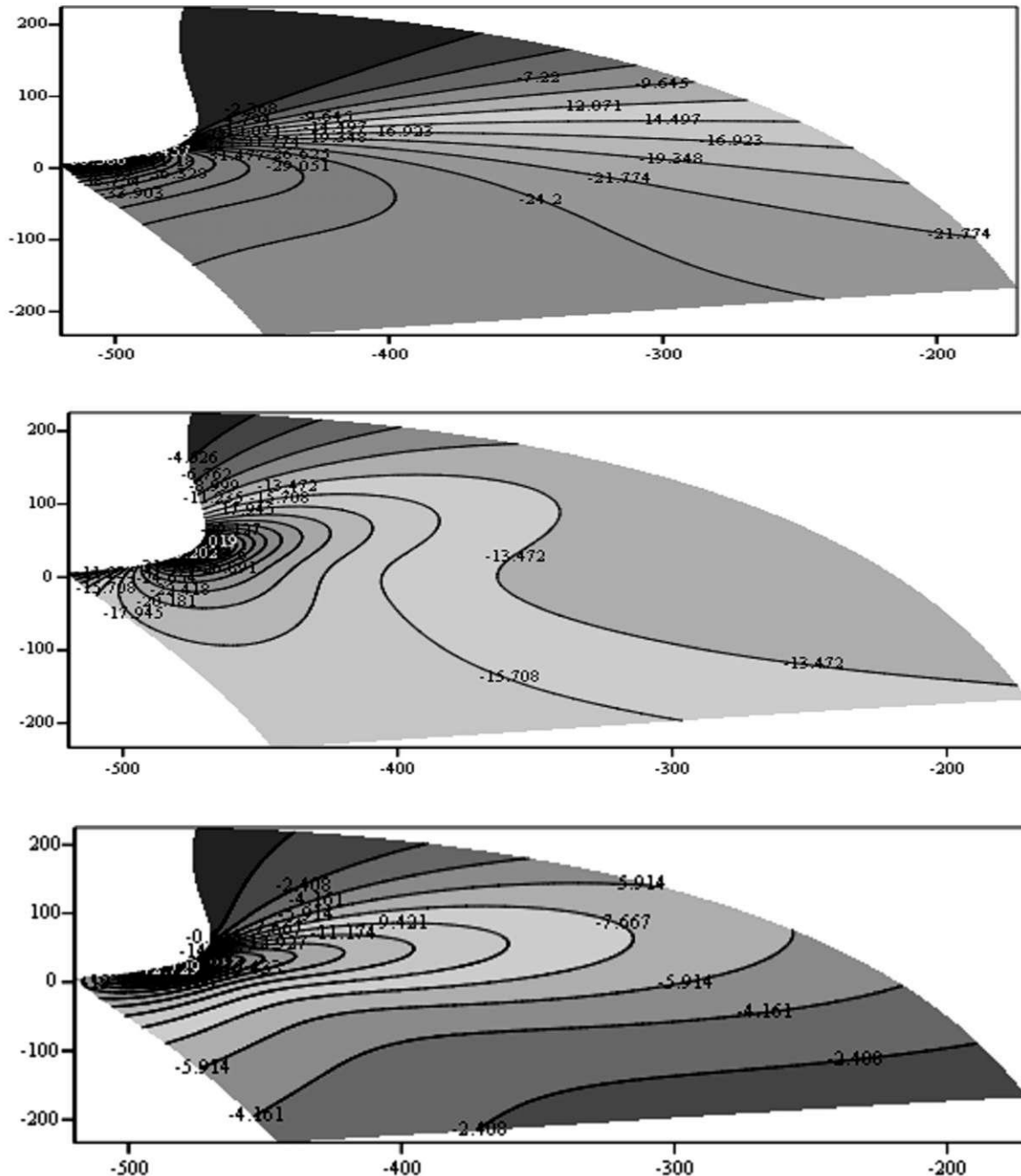


Рисунок 2. Закономерности распределения напряжений в зоне сопряжения борта склона горы с его основание

Влияние образования туннеля на распределения напряжений определяется путем решения граничной задачи для плоскости XOY с трапецие-

видным отверстием, форма которой моделируется с помощью отображающей функции:

$$z = \omega(\zeta); \quad z = x + iy; \quad i = \sqrt{-1}; \quad \zeta = \rho e^{i\theta},$$

$$\omega(\zeta) = e^{i\delta} R[\zeta + \omega_0(\zeta)]; \quad \omega_0(\zeta) = \sum_{k=1}^4 d_k / \zeta^k \quad (9)$$

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

R – коэффициент для изменения размеров отверстия; δ – параметр (в радианах) для уста-

новления ориентации оси симметрии отверстия относительно горизонтальной оси. Параметры отображающей функции d_1, d_2, d_3, d_4 путем вариации их значений, например, как в (табл. 2), можно моделировать в разных трапециевидных формах сечений туннелей (рис. 3).

Таблица 2. – Параметры отображающей функции

№	d_1	d_2	d_3	d_4	δ
$x_4 - y_4$	0,0893	0,0479	-0,1143	0,0893	90 градус
$x_2 - y_2$	-0,0168	0,058	-0,1404	-0,0109	90 градус
$x_3 - y_3$	0,1547	0,0322	-0,1602	-0,0109	90 градус
$x_4 - y_4$	0	0,035	-0,0319	-0,0425	90 градус

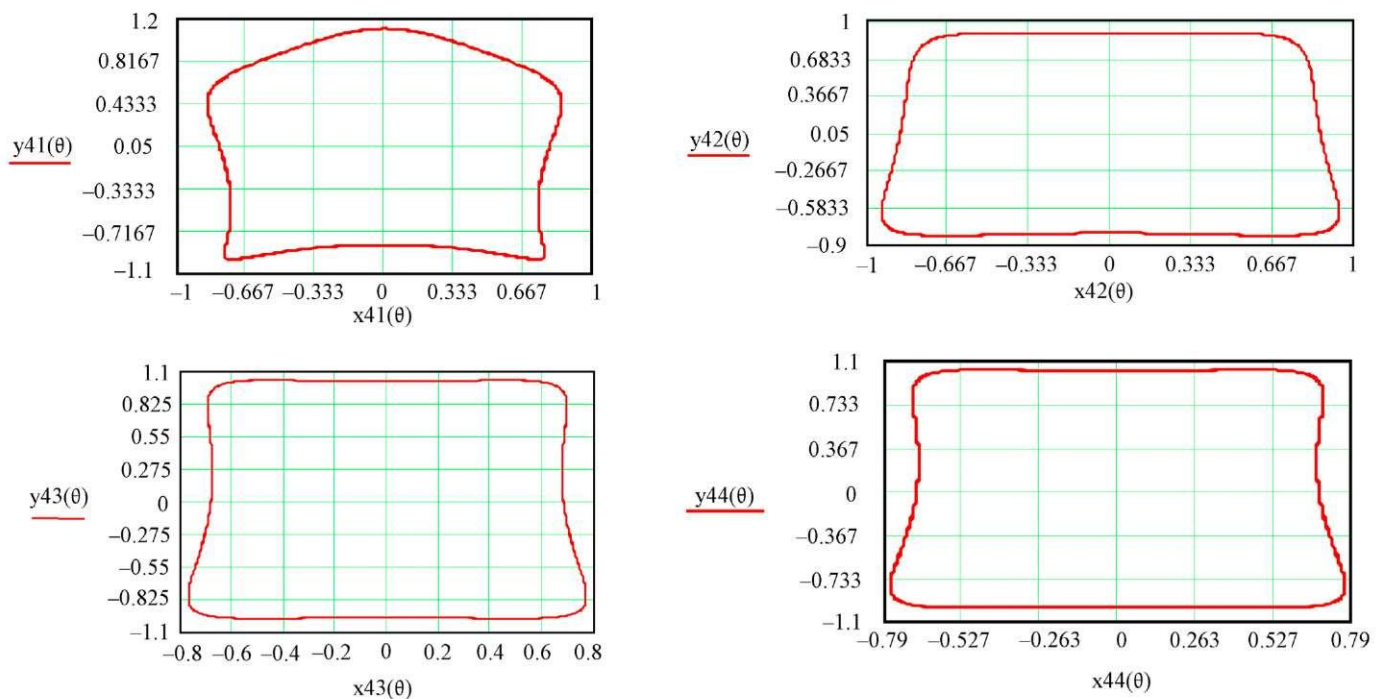


Рисунок 3. Формы поперечных сечений туннелей

Сумма первых трех полей напряжений в контурных точках туннеля удовлетворяют граничным условиям:

$$(\sigma_x^p + \sigma_x^n + T_x + \sigma_x^m) * (\cos n, x) +$$

$$+ (\tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m) \cos(n, y) = 0; \quad (10)$$

$$(\tau_{xy}^n + \tau_{xy}^p + \tau_{xy}^m) \cos(n, x) +$$

$$+ (\sigma_y^n + \sigma_y^p + \sigma_y^m) \cos(n, y) = 0$$

При отображении типа (8) угол α между направленными осями OX и касательной кривой

$$\rho \text{ определяется формулой}$$

$$e^{2i\alpha} = \zeta^2 \omega'(\zeta) / (\rho^2 \omega'(\zeta)) e^{-2i\alpha} = \zeta^2 \overline{\omega'(\zeta)} / (\rho^2 \omega'(\zeta)) \quad (11)$$

Условие (8) в преобразованной плоскости (см. рис. 3) новых переменных (8) и (10) принимает вид:

$$co(a)/m'(a) +$$

$$RFa + \wedge(a)J = 0;$$

$$RFa + \phi) + [D\Gamma + p'(ct)]^* \quad (12)$$

$$a(a)/a'(a) + [B\Gamma'o + y(o)] = 0;$$

Здесь обозначено так же в [17]:

$$\Gamma = (S_x + S_y)/4; \quad \Gamma' = (S_r - S_x + 2iS_{x7})/2;$$

$$\Gamma = (S_y - S_x - 2iS_{x7})/2;$$

Эти постоянные введены в [17] для обозначения однородного начального напряженного состояния $S_x S^\wedge S_{xy}$ в центре отверстия, где размещено начало оси координат нового вспомогательного переменного $Z = p e^{i\theta}$. Функции $\langle p(Z), \wedge(Z)$ определено для внешности единичной окружности, где $p = i$ контурные точки этой окружности обозначены $Z = a = e^{i\theta}$

$Z = a = e^{i\theta}$. Отношения $co(a)/co'(a)$ и $co(a)/co'(a)$ разлагаются на простые выражения (полином + правильная дробь):
 $\phi)/o'(a) = e^{2iS} [b_4 a^4 + b_3 a^3 + b_2 a^2 + b_1 a^1 + b_0 + f_i];$

$$\odot(ct) / \odot'(ct) = e^{2iS} [b_4/a^4 + b_3/a^3 + b_2/a^2 + b_1/a + b_0 + f_2];$$

$$fi(a) = \frac{1}{L} a^{-d_1} a^{-2d_2} a^{-3d_3} a^{-4d_4}$$

$$f \gg = \frac{I q_4^a + q_3^a + q_2^a + q_1^a + q_0 a I}{[i - d_1 a^2 - 2d_2 a^3 - 3d_3 a^4 - 4d_4 a^5]}$$

$$b = d; b = d; b = d + d d; b = d + 2d d + d d; b_0 = 3d_3 d_4 + 2d_2 b_3 + d_1 b_2; q_0 = 4d_4 b_j; q_1 = 4d_4 b_i + 3d_3 b_0$$

$$q = 4d_4 b_2 + 3d_3 b_1 + 2d_2 b_0; q_3 = 4d_4 b_3 + 3d_3 b_2 + 2d_2 b_1 + d_1 b_0;$$

$$q = 1 + 4d_4 b_4 + 3d_3 b_3 + 2d_2 b_2 + d_1 b_1$$

Интегралы типа Коши от заданных граничных условий (12) определяют искомым функций $\langle p(Z), \wedge(Z)$. Когда на контур туннеля действует гидростатический напор ($-P_0$) необходимо решать граничные задачи по определению функций из условий:

$$((a) + ('(\&)* \text{ю}(ct)/\text{ю}'(ct) + \wedge(ct) = -P_0 R(o(a);$$

$$\phi) + \phi'(a)^* |_{\text{ю}(a)/\text{ю}'(ct)} J + y(a) = -P_0 R e^{\gamma(a)}. \quad (13)$$

Соотношения для определения функций $\langle p(Z), y(Z)$ из граничных условий (12) и (13) идентичны и поэтому рационально объединить в виде суммы для постоянных коэффициентов явно заданных в (12) и (13).

$$N_1 = Re^{iS}(S_x + S_y)/4; N_2 = Re^{iS}(S_y - S_x + 2i S^\wedge)/2;$$

$$N_3 = N_1; N_4 = N_2;$$

$$a = -Nd - N; a = -Nd; a = -Nd; a = -Nd; b = -Nd - N; b = -Nd; b = -Nd; b = -Nd; a_n = e^{P_0 R d}; a_{12} = PRdj; a_{13} = P_0 M; a_{14} = e$$

$$h = P_0 Re^{iS}; sh = h_{00} + h_{01} sh = h_{00}; sh = h_{01}; sh = h_{02}; sh = h_{03}; sh = h_{04}; ca = a + a; ca = a + a; ca = a + a; ca = a + a; ca = a + a$$

$$\text{Интегралы типа Коши от граничных условий в (12) и (13) имеют вид: } \phi) + G(Z) = A_0(d); (p'(0^* \setminus \phi)/a'(0 \sim J + \mathbb{Y}(C) - G(Z) = \quad (14)$$

$$G(Z) = b_3 Ri + 2b_4 R^{2iS} Z^{-} + b_4 Ri^{2iS}$$

$$A_0 Z) = Z_{ca k} Z \sim^k 'MO = E_{sb k} Z \sim^k;$$

$$\text{Для выражений в отношениях } co(a)/co'(a) \text{ и } co(a)/co'(a) \text{ вводим новые обозначения: } bp_0 = b_0 e^{2iS}; bp_1 = b_1 e^{2iS}; bp_2 = b_2 e^{2iS}; bp_3 = b_3 e^{2iS}; bp_4 = b_4 e^{2iS}; bp_5 = b_5 e^{2iS}; qp_0 = q_0 e^{-2iS}; qp_1 = q_1 e^{-2iS}; qp_2 = q_2 e^{-2iS}; qp_3 = q_3 e^{-i}; qp_4 = q_4 e^{-2iS}; qp_5 = q_5 e^{-2iS}$$

Первое уравнение (13) содержит полюсы второго порядка от второго слагаемого граничного условия в (11). Пока их обозначим через

R_1, R_2, R_i, R_2 ; Для определения их значений приравнявая к коэффициентам при одинаковых степенях переменного $Z \sim^k$ ($k = i, 2$) правых и левых частей первого уравнения будем иметь систему двух уравнений. Добавим им сопряженные уравнения и получаем систему из четырех уравнений. Коэффициенты системы имеют вид:

$$M_{0,0} = 1; M_{0,i} = M_{0,2} = -b_{p3}; M_{0,3} = -2b_{p4}; M_{i,0} = 0; M_{ii} = i; M_{i,2} = -bp_4; M_{i,3} = 0;$$

$$M_{2,0} = M_{0,1}; M_{2,i} = M_{03}; M_{2,2} = M_{00}; M_{2,3} = M_{0d}; M_{3,0} = M_{i,2}; M_{3,i} = M_{i,3}; M_{3,2} = M_{i,0}; M_{3,3} = M_u;$$

Коэффициенты в правой части системы уравнений равны:

$$M_0 = ca_1; M_1 = ca_2; M_2 = ca_1; M_3 = ca_2;$$

Здесь принято:

$$C_i - C_{i1} +; CC_2 - C_{i2} + \gamma_2 * CC_3 \dots \dots Ca_3; CC_4 \dots \dots Ca_4;$$

$$\gamma_1 = (b_3 MR_2 + 2b_4 MR_3) e^{2is}; \gamma_2 = (b_4 MR_2) e^{2iy};$$

Решение системы в нотациях MATHCAD имеет вид: $MR = M^{-1}$

* M0

Соотношения для функций:

$$ВД) = (f r_k Z^{-k} 1 e^{\sim 2,s}; Q(Z) = \sum_{k=1}^J$$

$$= f f q Z^k 1; f(Z) =$$

$$= (b_i Z + b + Q(Z)/ad(Z)) e^{-Z,s};$$

$$V(Z) = B_0(Z) + VZ) - f(ZW(Z))$$

$$r_i = \sum_{k=2}^{K} A^{kC}; 2 = {}^4C_4 b_3 + {}^3C_3 b_2; 3 = {}^4C_4 b_2 *$$

$$\Phi Ю = v'(Z)/\mathbb{R}'(Z);$$

$$V(Z) = w'(Z)/co'(Z); \phi' Ю = (V$$

$$(СМС) - v'(ZK(Z))/a'(Z)^2$$

Значения параметров отображающей функции взаимствуем из второй строки табл. 2 и рассмотрим туннель с трапецевидным сечением контур которого обозначен на рис. 3 через $(x_4 y_4)$.

Сумма первых трех полей напряжений в системе криволинейных координат, где для контурных точек туннеля при $P = 1$, расчеты представим в виде табл. 3 для каждого компонента напряжений.

Таблица 3. Контурные значения напряжений без напора

	$a_e(l, \theta)$	
0	-53.118	$1.243 \cdot 10^{-14}$
$-1.066 \cdot 10^{-14}$	-56.866	$7.105 \cdot 10^{-15}$
$-7.105 \cdot 10^{-15}$	-63.333	$2.309 \cdot 10^{-15}$
$-7.105 \cdot 10^{-15}$	-73.574	$-1.066 \cdot 10^{-14}$
$-1.776 \cdot 10^{-14}$	-89.4	-1.42110^{-13}
$-6.04 \cdot 10^{-14}$	-113.611	$5.329 \cdot 10^{-15}$
$-1.066 \cdot 10^{-14}$	-149.177	$7.283 \cdot 10^{-14}$
$-1.439 \cdot 10^{-13}$	-192.943	$7.638 \cdot 10^{-14}$
1.74110^{-13}	-219.091	$3.02 \cdot 10^{-14}$
$1.421 \cdot 10^{-13}$	-191.888	$-6.217 \cdot 10^{-14}$
$8.171 \cdot 10^{-14}$	-132.504	1.42110^{-13}
$-4.263 \cdot 10^{-14}$	-82.683	$5.684 \cdot 10^{-14}$
$-2.132 \cdot 10^{-14}$	-51.125	$-1.599 \cdot 10^{-14}$
$1.421 \cdot 10^{-14}$	-32.259	$5.507 \cdot 10^{-14}$
$2.842 \cdot 10^{-14}$	-20.756	$3.908 \cdot 10^{-14}$

Отсюда видно, что граничные условия (9) для туннеля без напора выполняется с высокой точностью. Погрешность не более 10^{-14} .

При действии напора $P = -25$ МПа на контуре туннеля вычисленные значения компоненты напряжений приведены в табл. 4 в тех же точках контура, что и в (таблице 3).

Таблица 4. Напряжения на контуре туннеля от напора

$\sigma_r(1, \theta)$	$\sigma_\theta(1, \theta)$	$\tau_{r\theta}(1, \theta)$
-25	-54.795	$1.066 \cdot 10^{-14}$
-25	-57.887	$-1.766 \cdot 10^{-15}$
-25	-62.254	$1.066 \cdot 10^{-14}$
-25	-68.511	$3.553 \cdot 10^{-15}$
-25	-77.579	$-8.882 \cdot 10^{-15}$
-25	-90.7	$-1.599 \cdot 10^{-14}$
-25	-108.731	$4.263 \cdot 10^{-14}$
-25	-128.422	$-1.243 \cdot 10^{-14}$
-25	-134.697	$2.576 \cdot 10^{-14}$
-25	-111.829	$-3.908 \cdot 10^{-14}$
-25	-76.296	$8.527 \cdot 10^{-14}$
-25	-49.622	$-1.066 \cdot 10^{-14}$
-25	-33.866	$-8.882 \cdot 10^{-15}$
-25	-24.843	$4.441 \cdot 10^{-14}$
-25	-19.365	$-2.665 \cdot 10^{-14}$

Результаты расчета напряжений до и после действия напора на контур туннеля представлены на (рис. 4). На (рис. 5) представлены изолинии компонентов относительных деформаций вокруг туннеля, которые имеет место до (слева) и после действия (справа) напора.

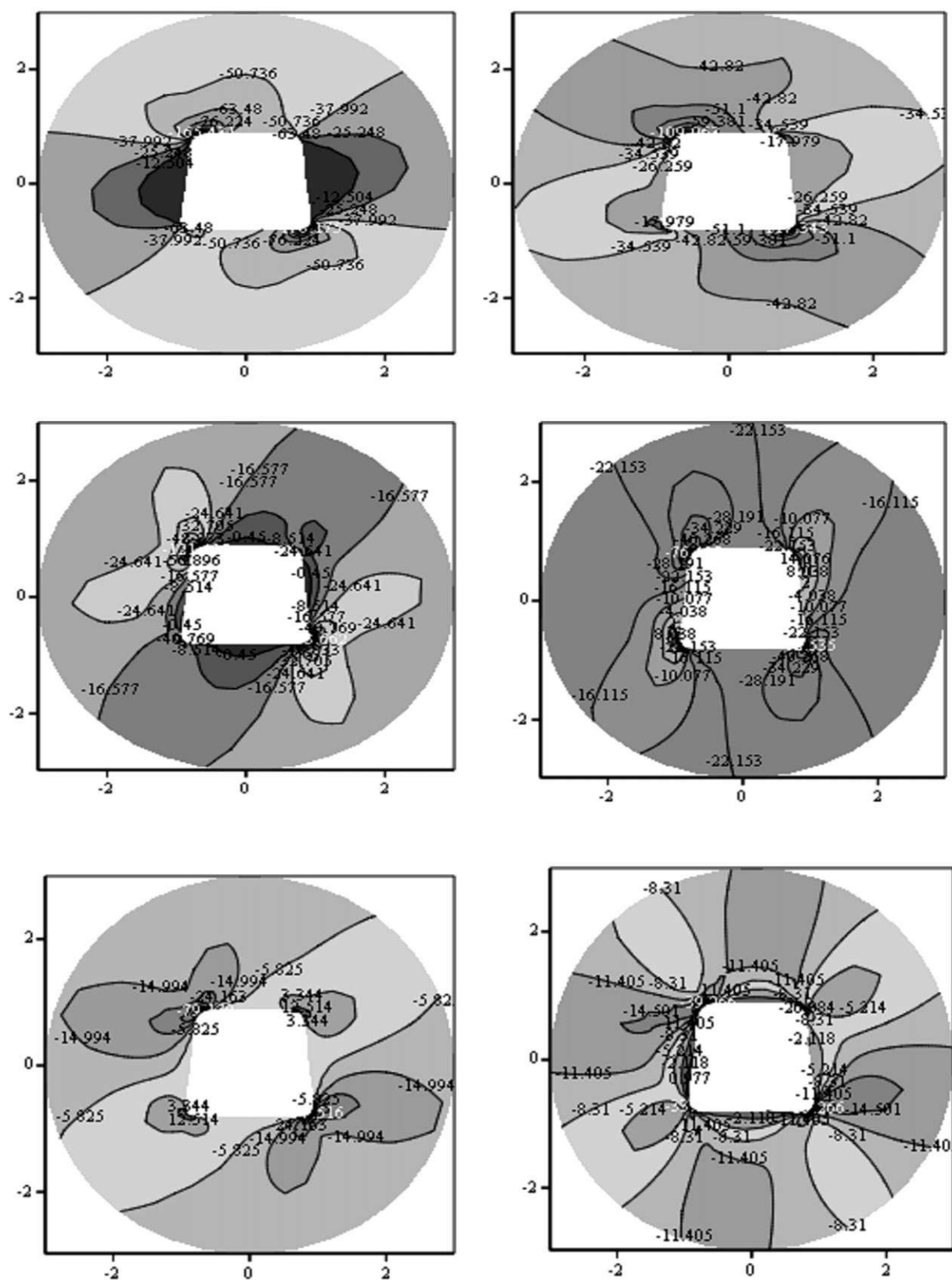


Рисунок 4. Изолинии распределения напряжений вокруг туннеля до (слева) и после действия напора (справа)

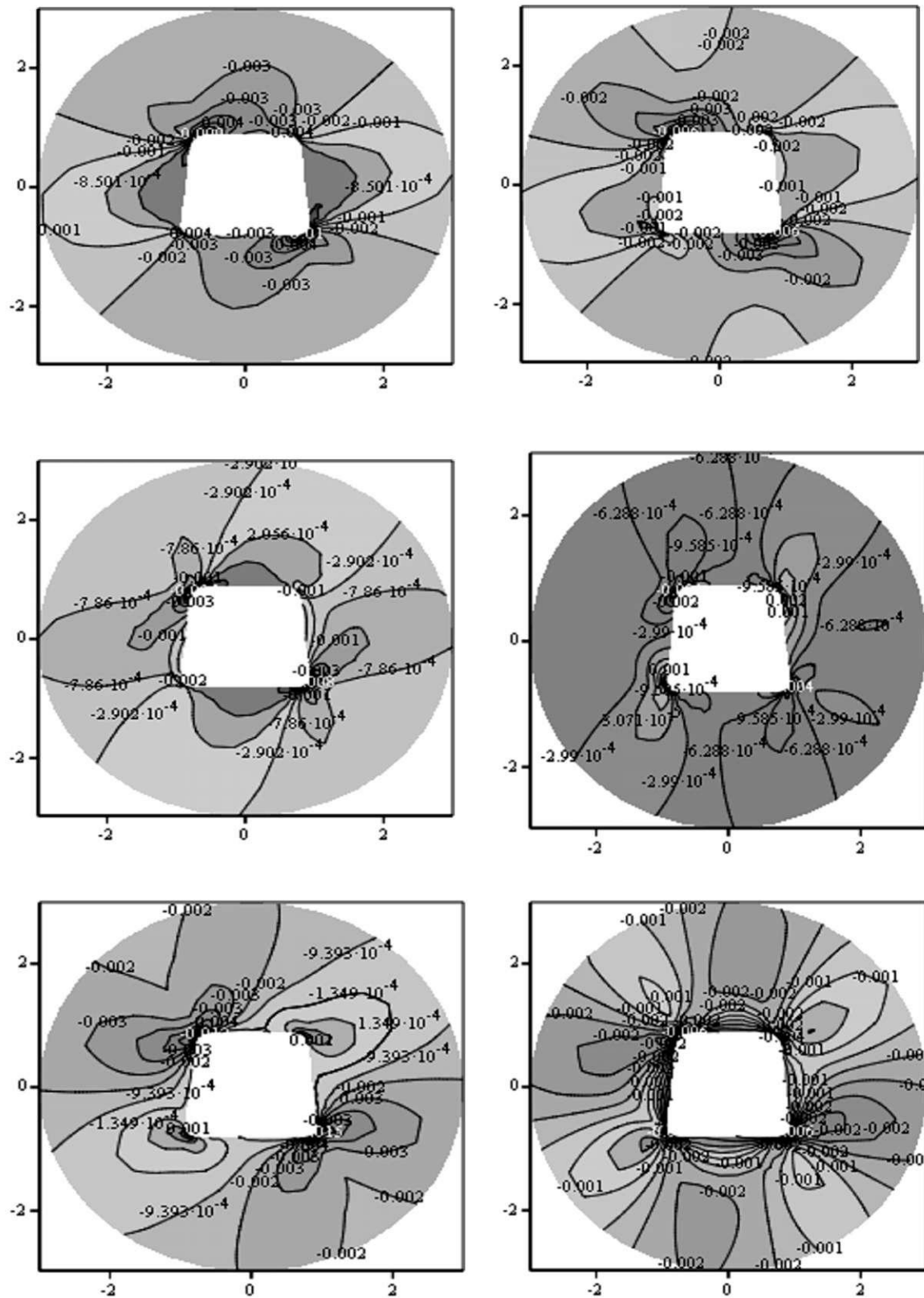


Рисунок 5. Изолинии распределения относительных деформаций вокруг туннеля до (слева) и после действия напора (справа)

Заключение

Таким образом, созданная модель напряженного и деформированного состояния напорного туннеля трапецевидным сечением при $P = 0$ пригоден для оценки состояний вокруг транспортных и горных выработок с подобным сечением.

Состояние массивов вокруг туннелей и выработок в условиях действия только силы гравита-

ции при $T_x = 0$ математически описывается помощью созданной модели.

Ранее выполненные некоторые исследования [3, 4, 8, 9] выработок расположенных в весоной полуплоскости и вновь полученные результаты исследования вытекают из построенной модели (1), если не учитываем влияние рельефа (второе поле напряжений).

Список литературы:

1. Айтматов И. Т. Геомеханика рудных месторождений Средней Азии. Фрунзе, – 1984. – 246 с.
2. Ахпателов Д. М. Исследование напряженного состояния массивов горных пород в поле гравитации: Автореф. дис. канд. техн. наук – М., – 1972. – 23 с.
3. Авершин С. Г., Балалаева С. А., Груздев В. Н. Распределение напряжений вокруг горных выработок. – Фрунзе: Илим, – 1971. – 130 с.
4. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, – 1982. – 272 с.
5. Баялиева Ж. А., Жумабаев Б. Напряженное состояние массивов вблизи уступа на склоне горы при совместном действии сил гравитации и сейсмики. Журнал «Естественные и технические науки». – М., – № 12. – 2015. – С. 53–61.
6. Баялиева Ж. А., Жумабаев Б. Методика моделирования и аналитическое описание напряженно-деформированного состояния массивов склона горы с уступами. Вестник Заб. государственного ун-а. Чита, – Т. 22. – № 1. – 2016. – С. 4–16.
7. 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.
8. Динник А. Н. и другие. Распределение напряжений вокруг подземных выработок / Труды совещания по управлению горным давлением. М.: Изд-во АН СССР, – 1938. – С. 7–55.
9. Ержанов Ж. С., Айталиев Ш. М., Масиков Ж. К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в анизотропном слоистом массиве. – Алма-Ата: Наука, – 1980. – 212 с.
10. Жумабаев Б. Распределение напряжений в массивах пород с гористым рельефом. – Фрунзе: Илим, – 1988. – 190 с.
11. Jumabaev 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 Sensign Cartography. Institute for Cartography Dresden University of Technology. Germany, – 2004. – 97с.
12. 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, – Бишкек, – 2011. – С. 330–338.
13. Кутепов В. М. Результаты изучения естественных напряжений в массивах трещиноватых пород горных склонов. Вестник МГУ, Сер. Геология, – № 6. – 1966. – С. 71–76.
14. Крупенников Г. А., Филатов Н. А., Амосин Б. З., Барковский В. М. Распределение напряжений в породных массивах. – М.: Недра, – 1972. – 144с.

15. Кирьянов Д. MATCAD № 14 в подлиннике. – СПб., БВХ-Петербург. – 2007. – 704 с.
16. Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, – 1966. – 707 с.
17. Напряженное состояние земной коры. – М.: Наука, – 1973. – 186 с.
18. Тер-Мартirosян З. Г., Ахпателов Д. М. Напряженное состояние горных массивов в поле гравитации /ДАН СССР, – 1976. – Т 220. – № 2. – С. 311–314.
19. Hast N. Stress Fields Fracture System and the Mechanism for Movements in Greiss Avea of the Mont Blanc Massif. Roch Mechanica Suplementum. – 1980. – 9. – P. 3–10.