

SCI-CONF.COM.UA

EUROPEAN SCIENTIFIC DISCUSSIONS



**ABSTRACTS OF IV INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
FEBRUARY 26-28, 2021**

**ROME
2021**

EUROPEAN SCIENTIFIC DISCUSSIONS

Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference

Rome, Italy

26-28 February 2021

Rome, Italy

2021

UDC 001.1

The 4th International scientific and practical conference “European scientific discussions” (February 26-28, 2021) Potere della ragione Editore, Rome, Italy. 2021. 593 p.

ISBN 978-88-32934-02-1

The recommended citation for this publication is:

Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // European scientific discussions. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore. Rome, Italy. 2021. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-european-scientific-discussions-26-28-fevralya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/>.

Editor

Komarytskyy M.L.

Ph.D. in Economics, Associate Professor

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine, Russia and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

e-mail: rome@sci-conf.com.ua

homepage: <https://sci-conf.com.ua>

©2021 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2021 Potere della ragione Editore ®

©2021 Authors of the articles

TECHNICAL SCIENCES

24. *Abdumajidov A. A., Akhmedova Iroda Zikrilla qizi, Mirataev A. A., Nabieva I. A.* 146
EXPLORING POSSIBILITIES OF USING TEXTILE WASTE IN THE PAPER INDUSTRY.
25. *Ratushnyi O., Ignatiev O., Kulikov O., Bezsmertnyi O.* 149
PROLONGATION OF THE PUMP LIFECYCLE IN PULSATING OPERATION MODE.
26. *Vladimirov L. V.* 156
DEFINITION OF ENVIRONMENTAL RISKS.
27. *Дорофеев В. С., Езупов К. В., Езупов В. К.* 163
ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.
28. *Пушка О. С., Бортничук О. В., Губеня В. О., Люлька О. М.* 170
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ТЕПЛОЄМНІСТЬ КРОХМАЛЬНИХ КЛЕЙСТЕРІВ.
29. *Тарасенко О. В., Мартинов Д. О.* 173
ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПОРУШЕНЬ ВОДІЯМИ ВИМОГ ПРАВИЛ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.
30. *Шендрик О. М., Шендрик Д. О.* 180
ВИКОРИСТАННЯ ГЕО ТА АКВАТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРИКЛАДІ ФЛЕГРЕЙСЬКИХ ПОЛІВ.

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

31. *Алексеева Л. А., Українець В. Н., Гирнис С. Р.* 185
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОННЕЛЯ РАЗНОЙ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ.
32. *Мусаев А. М.* 194
О ПОРЯДКЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ $[m, n]$ - СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛОВ В МЕТРИКЕ ПРОСТРАНСТВО $L_{p; \sigma, \tau}(E_2^+)$.

GEOGRAPHICAL SCIENCES

33. *Мансарлійський В. Ф., Романенко С. Е., Пенеляшков С. С.* 202
ПРОГНОЗ РАДІАЦІЙНОГО ТУМАНУ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ МІСЦЕВИХ УМОВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ.

GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES

34. *Laman Teymurzade Teymur* 209
CORRELATION OF THE LOWER AND THE MIDDLE DEVONIAN OF THE NAKHCHYVAN AR WITH MODEL SECTIONS OF THE ARDENN-RHEIN REGION OF THE WEST EUROPE AND ANALOGOUS SECTIONS IN THE OTHER REGIONS OF EURASIA.

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТОННЕЛЯ РАЗНОЙ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Алексеева Людмила Алексеевна,
д.ф.-м.н., профессор

Институт математики и математического моделирования
г. Алматы, Республика Казахстан

Украинец Виталий Николаевич,
д.т.н., профессор

НАО «Торайгыров университет»
г. Павлодар, Республика Казахстан

Гирнис Светлана Римонтасовна,
к.т.н., ассоциированный профессор
НАО «Торайгыров университет»
г. Павлодар, Республика Казахстан

Введение. Одной из модельных задач, применяемых для исследования динамики неподкрепленных тоннелей под воздействием транспортной нагрузки (нагрузки от движущегося внутритоннельного транспорта), является задача о действии на упругое полупространство нагрузки, равномерно движущейся по поверхности круговой цилиндрической полости вдоль её образующей, параллельной свободной границе полупространства. Данная задача моделирует тоннель мелкого заложения. В отличие от аналогичной задачи для упругого пространства, моделирующей тоннель глубокого заложения, эта задача является более сложной, так как возникает необходимость учитывать отражаемые границей полупространства волны. Исследованию указанной

проблемы посвящен ряд публикаций, охватывающий, в основном, последние годы [1 – 6].

Цель работы. На основе решения задачи о действии подвижной синусоидальной нагрузки на бесконечно длинную круговую цилиндрическую полость в упругом полупространстве исследовать напряженно-деформированное состояние породного массива, окружающего неподкрепленный тоннель разной глубины заложения при действии на него данной нагрузки.

Материалы и методы. При решении задачи используется метод математического моделирования с привлечением моделей теории упругости.

1. Постановка и аналитическое решение задачи. Используя для исследований модельный подход, представим неподкрепленный тоннель как бесконечно длинную круговую цилиндрическую полость радиусом $r = R$ в линейно-упругом, однородном и изотропном полупространстве (массиве), отнесённом к подвижной декартовой $x, y, \eta = z - ct$ или цилиндрической системе координат $r, \theta, \eta = z - ct$ [1], ось z которых совпадает с осью полости и параллельна свободной от нагрузок горизонтальной границе полупространства (земной поверхности), ось x – перпендикулярна к этой границе: $x \leq h$ (рис. 1). Физико-механические свойства массива характеризуются следующими постоянными: ν – коэффициент Пуассона, μ – модуль сдвига, ρ – плотность.

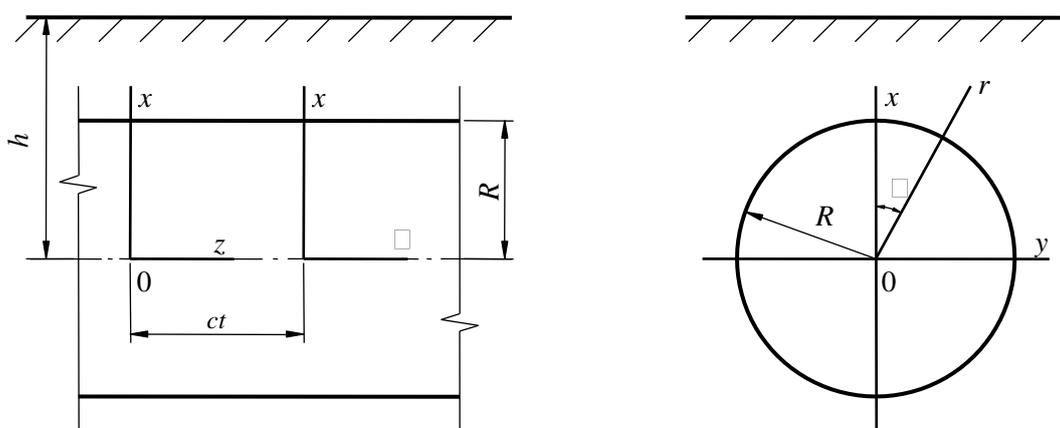


Рис. 1. Расчётная схема неподкреплённого тоннеля

Пусть на поверхность полости действует движущаяся с постоянной дозвуковой скоростью c (со скоростью, меньшей, чем скорость

распространения волн сдвига в массиве) в направлении оси z нагрузка интенсивностью $P(\theta, \eta)$, периодичная по η и представима в виде синусоидальной нагрузки с произвольной зависимостью от угловой координаты

$$P(\theta, \eta) = p(\theta)e^{i\xi\eta}, \quad p(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{in\theta}, \quad (1)$$

$$P_j(\theta, \eta) = p_j(\theta)e^{i\xi\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta,$$

где константа ξ определяет период $T = 2\pi/\xi$ действующей нагрузки.

Граничные условия на поверхности полости, при этом, имеют вид

$$\sigma_{rj}|_{r=R} = P_j(\theta, \eta), \quad j = r, \theta, \eta, \quad (2)$$

где σ_{rj} – компоненты тензора напряжений в массиве.

Так как граница полупространства свободна от нагрузок, то, при $x = h$

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xy} = \sigma_{x\eta} = 0. \quad (3)$$

Определим реакцию полупространства на данную подвижную нагрузку.

Для этого воспользуемся уравнениями движения упругой среды в подвижной системе координат [1]

$$(M_p^{-2} - M_s^{-2}) \text{grad div } \mathbf{u} + M_s^{-2} \nabla^2 \mathbf{u} = \partial^2 \mathbf{u} / \partial \eta^2. \quad (4)$$

Здесь: \mathbf{u} – вектор смещения упругой среды, $M_p = c/c_p$, $M_s = c/c_s$ – числа Маха, $c_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$, $c_s = \sqrt{\mu/\rho}$ – скорости распространения волн расширения-сжатия и сдвига в среде, $\lambda = 2\mu\nu/(1-2\nu)$, ∇^2 – оператор Лапласа.

Вектор \mathbf{u} можно выразить через потенциалы Ламе [7, 8]

$$\mathbf{u} = \text{grad } \varphi_1 + \text{rot}(\varphi_2 \mathbf{e}_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_3 \mathbf{e}_\eta), \quad (5)$$

которые, как следует из (4) и (5), удовлетворяют уравнениям

$$\nabla^2 \varphi_j = M_j^2 \partial^2 \varphi_j / \partial \eta^2, \quad j = 1, 2, 3, \quad (6)$$

где $M_1 = M_p$, $M_2 = M_3 = M_s$.

В установившемся состоянии зависимость всех величин от η имеет вид (1), поэтому $\varphi_j(r, \theta, \eta) = \Phi_j(r, \theta)e^{i\xi\eta}$. Подставляя последнее выражение в (6), получим

$$\nabla_2^2 \Phi_j - m_j^2 \xi^2 \Phi_j = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (7)$$

где ∇_2^2 – двумерный оператор Лапласа, $m_j = (1 - M_j^2)^{1/2}$, $m_1 = m_p$, $m_2 = m_3 = m_s$.

Представив компоненты напряжённо-деформированного состояния (НДС) массива через потенциалы Ламе можно получить выражения для перемещений u_l и напряжений σ_{lm} в декартовой ($l, m = x, y, \eta$) и цилиндрической ($l, m = r, \theta, \eta$) системах координат как функции от Φ_j . Дальнейшее решение задачи сводится к интегрированию уравнений (7) при выполнении граничных условий (2), (3). Для определения компонент НДС массива необходимо определить Φ_j . При дозвуковой скорости движения нагрузки $M_s < 1$ ($m_s > 0$), и решения уравнений (7) можно представить через суперпозиции поверхностных цилиндрических $\Phi_j^{(1)}$ и плоских $\Phi_j^{(2)}$ волн [1]

$$\Phi_j = \Phi_j^{(1)} + \Phi_j^{(2)}, \quad (8)$$

$$\Phi_j^{(1)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} K_n(k_j r) e^{in\theta}, \quad \Phi_j^{(2)} = \int_{-\infty}^{\infty} g_j(\xi, \zeta) \exp(iy\zeta + (x-h)\sqrt{\zeta^2 + k_j^2}) d\zeta,$$

где $K_n(k_j r)$ – функции Макдональда, $k_j = |m_j \xi|$; a_{nj} , $g_j(\xi, \zeta)$ – неизвестные коэффициенты и функции, подлежащие определению, $j = 1, 2, 3$.

Как показано в [1], представление потенциалов в форме (8) с использованием условий (2) и (3), при скоростях нагрузки меньших, чем скорость волны Рэлея c_R в рассматриваемой среде, приводит к системам линейных алгебраических уравнений с определителями $\Delta_n(\xi, c)$ относительно неизвестных коэффициентов a_{nj} , для решения которых может быть использован метод последовательных отражений. Если определители $\Delta_n(\xi, c)$ не равны нулю, определив коэффициенты a_{nj} , можно вычислить компоненты напряжённо-деформированного состояния массива. Как показали исследования указанных определителей, их обращение в ноль возможно только при скоростях нагрузки

не меньшей, чем скорость рэлеевской волны, которая несколько ниже скорости волн сдвига в среде. Заметим, что исключая из постановки задачи граничные условия (3) и исключая из (8) $\Phi_j^{(2)}$, получим решение аналогичной задачи для упругого пространства, моделирующей тоннель глубокого заложения.

2. Численный анализ НДС породного массива. Исследуем напряжённо-деформированное состояние окружающего тоннель радиусом $R = 1$ м породного массива при разной глубине его заложения h в случае действия на него движущейся с постоянной скоростью $c = 100$ м/с нормальной осесимметричной синусоидальной нагрузки $P_r = P$ с амплитудой P_A (Па) и периодом $T = 2\pi$ (м), оказывающей наибольшее давление на поверхность тоннеля в начале подвижной системы координат ($\eta = 0$). Окружающая тоннель порода – алевролит ($\nu = 0,2$, $\mu = 2,535 \cdot 10^9$ Па, $\rho = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³, $c_s = 1006,4$ м/с, $c_R = 917$ м/с). В таблицах 1 – 4 приведены результаты расчётов НДС окрестности тоннеля при разной глубине его заложения. В таблицах приняты следующие обозначения: $u_r^* = u_r \mu / RP_A$, $u_\theta^* = u_\theta \mu / RP_A$, $\sigma_{rr}^* = \sigma_{rr} / P_A$, $\sigma_{\theta\theta}^* = \sigma_{\theta\theta} / P_A$, $\sigma_{\eta\eta}^* = \sigma_{\eta\eta} / P_A$, $\sigma_{r\theta}^* = \sigma_{r\theta} / P_A$.

Таблица 1

Компоненты НДС окрестности тоннеля при $\eta = y = 0$.

h/R	Комп. НДС	x/R										
		1,0 -1,0	1,2 -1,2	1,4 -1,4	1,6 -1,6	1,8 -1,8	2,0 -2,0	2,2 -2,2	2,4 -2,4	2,6 -2,6	2,8 -2,8	3,0 -3,0
2,0	u_r^*	0,764 0,368	0,695 0,293	0,646 0,237	0,614 0,194	0,593 0,160	0,550 0,134	-	-	-	-	-
	σ_{rr}^*	-1,013 -0,993	-0,702 -0,735	-0,417 -0,567	-0,191 -0,443	-0,028 -0,344	0,057 -0,255	-	-	-	-	-
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,388 0,629	0,451 0,404	0,449 0,273	0,481 0,186	0,586 0,120	0,920 0,063	-	-	-	-	-
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,795 -0,407	-0,420 -0,258	-0,150 -0,158	0,084 -0,091	0,325 -0,045	0,614 -0,015	-	-	-	-	-
3,0	u_r^*	0,444 0,379	0,371 0,305	0,316 0,248	0,275 0,204	0,245 0,169	0,222 0,140	0,205 0,117	0,194 0,097	0,186 0,082	0,181 0,069	0,170 0,059
	σ_{rr}^*	-1,001 -1,000	-0,735 -0,743	-0,547 -0,574	-0,406 -0,453	-0,296 -0,364	-0,208 -0,295	-0,136 -0,240	-0,077 -0,195	-0,030 -0,159	0,003 -0,128	0,006 -0,102
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,589 0,622	0,407 0,407	0,289 0,278	0,213 0,196	0,164 0,141	0,133 0,103	0,117 0,076	0,112 0,056	0,120 0,041	0,142 0,029	0,195 0,020
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,512 -0,424	-0,325 -0,269	-0,202 -0,167	-0,118 -0,099	-0,058 -0,053	-0,012 -0,024	0,028 -0,005	-0,067 0,007	0,113 0,013	0,171 0,016	0,248 0,017

Таблица 2

Компоненты НДС окрестности тоннеля при $\eta = 0, r/R = 1$.

h/R	Комп. НДС	θ , град.									
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
2,0	u_r^*	0,764	0,696	0,554	0,432	0,368	0,351	0,358	0,366	0,368	0,368
	u_θ^*	0,0	-0,138	-0,189	-0,157	-0,096	-0,044	-0,015	-0,005	-0,003	0,0
	σ_{rr}^*	-1,013	-1,008	-0,994	-0,990	-0,998	-1,006	-1,008	-1,005	-0,999	-0,993
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,388	0,626	1,003	1,121	1,017	0,844	0,692	0,616	0,617	0,629
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,795	-0,720	-0,575	-0,473	-0,429	-0,421	-0,426	-0,426	-0,415	-0,407
3,0	u_r^*	0,444	0,434	0,412	0,391	0,379	0,375	0,376	0,377	0,379	0,379
	u_θ^*	0,0	-0,023	-0,032	-0,029	-0,019	-0,009	-0,003	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-1,001	-1,001	-1,000	-0,999	-1,000	-1,000	-1,001	-1,001	-1,000	-1,000
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,589	0,621	0,679	0,707	0,696	0,669	0,646	0,632	0,625	0,622
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,512	-0,499	-0,472	-0,448	-0,434	-0,427	-0,425	-0,424	-0,424	-0,424
4,0	u_r^*	0,399	0,390	0,386	0,382	0,380	0,379	0,379	0,380	0,380	0,380
	u_θ^*	0,0	-0,004	-0,006	-0,005	-0,004	-0,002	-0,001	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,621	0,626	0,637	0,643	0,641	0,636	0,632	0,629	0,627	0,627
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,443	-0,440	-0,434	-0,429	-0,426	-0,424	-0,423	-0,423	-0,423	-0,423
5,0	u_r^*	0,382	0,382	0,381	0,381	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
	u_θ^*	0,0	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,627	0,628	0,630	0,631	0,630	0,630	0,629	0,628	0,628	0,628
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,427	-0,426	-0,425	-0,424	-0,423	-0,423	-0,423	-0,423	-0,423	-0,423

Таблица 3

Компоненты НДС окрестности тоннеля при $\eta = 0, r/R = 2$.

h/R	Комп. НДС	θ , град.									
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
2,0	u_r^*	0,550	0,483	0,315	0,196	0,128	0,110	0,122	0,136	0,121	0,134
	u_θ^*	0,0	-0,030	-0,079	-0,088	-0,062	-0,031	-0,005	-0,013	-0,004	0,0
	σ_{rr}^*	0,057	-0,047	-0,222	-0,240	-0,290	-0,288	-0,279	-0,238	-0,350	-0,255
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,920	0,439	0,268	0,204	0,216	0,164	0,129	0,065	0,151	0,063
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	0,614	0,370	0,094	-0,017	-0,033	-0,031	-0,031	-0,027	-0,013	-0,015
	$\sigma_{r\theta}^*$	0,0	0,023	-0,042	-0,036	0,012	0,029	0,079	-0,027	0,011	0,0
3,0	u_r^*	0,222	0,205	0,174	0,151	0,140	0,136	0,137	0,138	0,139	0,140
	u_θ^*	0,0	-0,022	-0,027	-0,022	-0,014	-0,007	-0,003	-0,001	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-0,208	-0,240	-0,281	-0,293	-0,293	-0,293	-0,292	-0,295	-0,296	-0,295

	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,133	0,145	0,153	0,142	0,129	0,118	0,109	0,107	0,105	0,103
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,012	-0,020	-0,031	-0,035	-0,033	-0,030	-0,027	-0,025	-0,024	-0,024
	$\sigma_{r\theta}^*$	0,0	-0,037	-0,029	-0,010	0,001	0,007	0,005	0,002	0,003	0,0
4,0	u_r^*	0,156	0,153	0,147	0,142	0,140	0,139	0,139	0,140	0,140	0,140
	u_θ^*	0,0	-0,005	-0,006	-0,005	-0,003	-0,002	-0,001	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-0,279	-0,284	-0,293	-0,297	-0,297	-0,296	-0,297	-0,297	-0,297	-0,298
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,107	0,110	0,114	0,113	0,109	0,107	0,106	0,105	0,104	0,104
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,029	-0,029	-0,028	-0,027	-0,025	-0,024	-0,023	-0,023	-0,022	-0,022
	$\sigma_{r\theta}^*$	0,0	-0,008	-0,008	-0,003	0,0	0,001	0,001	0,001	0,0	0,0
5,0	u_r^*	0,143	0,143	0,142	0,141	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
	u_θ^*	0,0	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-0,294	-0,295	-0,297	-0,297	-0,297	-0,297	-0,297	-0,297	-0,297	-0,297
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,105	0,105	0,106	0,106	0,105	0,105	0,105	0,104	0,104	0,104
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	-0,024	-0,024	-0,024	-0,023	-0,023	-0,023	-0,022	-0,022	-0,022	-0,022
	$\sigma_{r\theta}^*$	0,0	-0,002	-0,002	-0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 4

Компоненты НДС окрестности тоннеля при $\eta = 0, r/R = 3$.

h/R	Комп. НДС	θ , град.									
		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
4,0	u_r^*	0,084	0,077	0,065	0,058	0,056	0,055	0,055	0,056	0,056	0,055
	u_θ^*	0,0	-0,007	-0,008	-0,005	-0,002	-0,001	0,0	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-0,072	-0,085	-0,106	-0,114	-0,112	-0,112	-0,114	-0,112	-0,113	-0,114
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,038	0,039	0,040	0,035	0,030	0,028	0,027	0,026	0,026	0,027
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	0,028	0,024	0,019	0,018	0,019	0,020	0,020	0,021	0,021	0,021
	$\sigma_{r\theta}^*$	0,0	-0,011	-0,009	-0,001	0,001	0,0	0,001	0,001	0,0	0,0
5,0	u_r^*	0,062	0,060	0,058	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
	u_θ^*	0,0	-0,002	0,002	-0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	σ_{rr}^*	-0,104	-0,107	-0,112	-0,113	-0,113	-0,113	-0,113	-0,113	-0,113	-0,113
	$\sigma_{\theta\theta}^*$	0,027	0,028	0,029	0,028	0,027	0,027	0,026	0,026	0,026	0,026
	$\sigma_{\eta\eta}^*$	0,019	0,019	0,020	0,020	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
	$\sigma_{r\theta}^*$	0,0	-0,003	-0,002	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Результаты и обсуждение. Из анализа результатов следует, что при $h/R \geq 4,0$ компоненты НДС тоннеля практически мало отличаются от одноименных компонент НДС тоннеля, расположенного в неограниченной среде. С уменьшением глубины заложения тоннеля ($h/R \leq 4,0$), изменения компонент в основном происходит в интервале $0 \leq x \leq h$.

С удалением от полости, как правило, наблюдается затухание компонент НДС массива (табл. 1 – 4). Однако, при малых h , $\sigma_{\theta\theta}$ и $\sigma_{\eta\eta}$ (в силу своего волнообразного характера изменения) на земной поверхности могут оказаться больше, чем на поверхности тоннеля. Так, при $\eta = y = 0$ и $h/R = 2,0$, $\sigma_{\theta\theta}$ на земной поверхности в два с лишним раза больше, чем на поверхности тоннеля (табл. 1). Данная работа рассмотрена, одобрена и рекомендована к изданию на научном семинаре лаборатории математической физики и моделирования Института математики и математического моделирования.

Выводы. При глубине заложения тоннеля $h/R \geq 4,0$ влияние земной поверхности на его напряженно-деформированное состояние несущественно. В этом случае для динамического расчета тоннеля при действии подвижной нагрузки можно использовать более простое решение задачи, моделирующей тоннель глубокого заложения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ержанов Ж.С., Айтиалиев Ш.М., Алексеева Л.А. Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 240 с.
2. Украинец В.Н. Реакция упругого полупространства на бегущую вдоль оси периодическую нагрузку // Математический журнал. – Алматы. – 2005. – № 3. – С. 96–102.
3. İrfan Coşkun and Demirhan Dolmaseven. Dynamic Response of a Circular Tunnel in an Elastic Half Space, Journal of Engineering, vol. 2017, Article ID 6145375, 12 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/6145375>.
4. Cao Z., Sun S., Yuan Z., Cai Y. Analytical Study on the Effect of Moving Surface Load on Underground Tunnel. In: Wu W., Yu HS. (eds) Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham. 2018.
5. J.P. Dwivedia, V.P. Singha, Radha Krishna Lalb, Sakshi Devia. Dynamic Response of Lined Circular Tunnel in Linear Viscoelastic Medium Due to Moving

Ring load. – Materials Today: Proceedings Volume 4, Issue 2, Part A, 2017. Pages 3767-3775.

6. Shunhua Zhou. Dynamics of Rail Transit Tunnel Systems. – Academic Press, 2019. – 276 p.

7. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.

8. Гузь Л.И., Кубенко В.Д., Черевко М.А. Дифракция упругих волн. – Киев: Наукова думка, 1978. – 308 с.