

Қазақ бас  
сәулет-құрылыс  
академиясы



ISSN 1680-080X

Казахская головная  
архитектурно-строительная  
академия

# ХАБАРШЫ

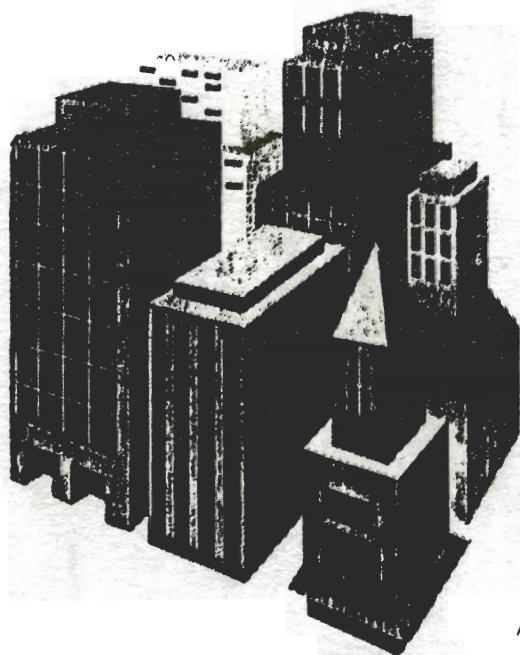
---

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

# ВЕСТНИК

---

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ



2(52)

АЛМАТЫ - 2014

ISSN 1680-080X

Регистрационный №1438-Ж  
Основан в 2001 году

№2 (52) 2014  
Выходит 4 раза в год

---

---

## **Ғылыми журнал**

Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясының  
**ХАБАРШЫСЫ**



## **В Е С Т Н И К**

Казахской головной архитектурно-строительной академии

## **Научный журнал**



Бас редакторы  
Ә.А. Құсайынов,  
ҚазБСҚА президенті,  
техника ғылымының  
докторы, профессор

Главный редактор  
А.А. Кусаинов,  
президент КазГАСА,  
доктор технических  
наук, профессор

## **Редакция алқасы – Редакционный совет**

*Заместитель главного редактора –*

Г.Б. Ибраимбаева, канд. техн. наук, ассоц. профессор

### **Члены редакционного совета:**

1. Байтенов Э.М. – д. арх., ассоциированный профессор ФА;
2. Сабитов А.Р. – д. арх., академический профессор ФД;
3. Тойбаев К.Д. – д.т.н., ассоциированный профессор ФОС;
4. Пяк О.Ю. – д.т.н., академический профессор ФСТИМ;
5. Тажигулова Б.К. – к.т.н., ассоциированный профессор ФСТИМ;
6. Наурузбаев К.А. – д.т.н., академический профессор ФОС;
7. Жакипбеков Ш.К. – д.т.н., академический профессор ФСТИМ;
8. Даурбекова С.Ж. – к.э.н., ассоциированный профессор ФСТИМ, директор Научного центра;
9. Буганова С.Н. – к.т.н., ассоциированный профессор ФОЕНП;
10. Нурмахова Ж.К. – к.п.н., ассоциированный профессор ФОГП;
11. Есимханова А.Е. – редактор издательского дома.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛЫ

<b>Байюсупова Қ.Т., Шадиев К.Ш., Орынбеков Е.С.</b> Определение Выхода фторидов при фторировании ильменитовых шлаков элементарным фтором.....	96
<b>Ибраимбаева Г.Б., Оразимбетова М.Б., Жапаров С.К., Сейтқұл Ж.М.</b> Возможность получения керамических кирпичей пластического формования с использованием фосфорного шлака.....	102
<b>Нуржумаев О.Н., Нугманов Ж.А., Стамгазиева Ж.К.</b> Колебания разномодульной струны с закрепленными концами.....	108
<b>Самыратов С.Т., Нургалиева Р.М.</b> Вопросы допускаемого бокового воздействия колес тележки на путь и допускаемых продольных сил сжатия в поезде .....	113
<b>Украинец В.Н., Гирнис С.Р., Ахметжанова М.М.</b> Воздействие на земную поверхность нагрузки от внутритоннельного транспорта.....	118

## ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЯ

<b>Azhiyeva G.I., Duisebayeva O.B.</b> Risk calculation table.....	127
<b>Zubova O.A., Dyadchenko Y.S.</b> The creating overview topographic maps Mangistau region using GIS software .....	130
<b>Мусина У.Ш., Васичкин А.С.</b> Обзор способов утилизации нефтеотходов и технологии их утилизации .....	133
<b>Мусина У.Ш., Казова Р.А., Жарма А.</b> Исследование процесса очистки прибрежной воды Каспия с помощью реагента на основе шунгита .....	141
<b>Яценко Е.С.</b> Использование беспилотных летательных аппаратов с целью создания топографических карт и планов .....	148
<b>Яценко Е.С., Кенесбаева А.К.</b> Трехмерное картографическое моделирование городов на основе аэрокосмических данных.....	153

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

<b>Молдашев О.Б.</b> Методы и модели исследования параллельной производительности на основе кластерной архитектуры.....	158
<b>Наурызбаева Г.К.</b> Эффективность применения информационно-деятельностного подхода в обучении физике .....	165
<b>Наурызбаева Г.К.</b> Повышение уровня знаний, умений и навыков на уроке физики .....	168
<b>Сәрсенбай А.С., Мәнжу М.Д.</b> Проблемы преподавания информатики и информационных технологий экономическим специальностям в вузах.....	173

УДК 539.3

Украинец В.Н., д.т.н., профессор ПГУ, г. Павлодар

Гирнис С.Р., к.т.н., доцент ПГУ, г. Павлодар

Ахметжанова М.М., инженер ИМММ, г. Алматы

## ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ НАГРУЗКИ ОТ ВНУТРИТОННЕЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

*На основе математического моделирования исследуется воздействие на земную поверхность движущейся в круговом тоннеле нагрузки при разной глубине его заложения. Результаты расчётов, в случае действия на поверхность тоннеля движущейся с постоянной скоростью нормальной осесимметричной нагрузки, представлены в виде графиков компонент напряжённо-деформированного состояния земной поверхности, которые детально анализируются.*

**Ключевые слова:** *тоннель, подвижная нагрузка, напряженно-деформированное состояние.*

*Математикалық модельдеу негізінде әр тереңдіктегі шеңбер тоннельде жүрген жүктеменің жер бетіне тигізетін әсері зерттеленуде. Тоннель бетіндегі тұрақты жылдамдықпен нормаль ось симметриялық жүктеме жүрген жер бетінің кернеу-деформациялық күйін компоненттер график түрінде көрсетіліп, есеп нәтижелері талданған.*

**Түйін сөздер:** *тоннель, жылжымалы жүктеме, кернеу-деформациялық күйі.*

*On the basis of mathematical modeling impact on a terrestrial surface of loading moving in a circular tunnel is investigated with a different depth of its location. Results of calculations, in case of action on a surface of a tunnel of normal axisymmetric loading moving with a constant speed, are presented in the form of schedules a component intense the deformed condition of a terrestrial surface which is in details analyzed.*

**Keywords:** *tunnel, moving load, the stress-strain state.*

Одной из основных задач при проектировании транспортных тоннелей в условиях городской застройки является определение такой глубины их заложения, при которой возникающие вследствие воздействия транспортной нагрузки (нагрузки от движущегося внутритоннельного транспорта) вибрации земной поверхности не оказывали бы неблагоприятного воздействия на людей и близлежащие здания и сооружения. Решение данной задачи можно получить на основе математического моделирования динамического поведения тоннеля, представляя его как протяженную полость в упругом полупространстве, по поверхности которой движутся нагрузки. Следует заметить, что

задачи можно получить на основе математического моделирования динамического поведения тоннеля, представляя его как протяженную полость в упругом полупространстве, по поверхности которой движутся нагрузки. Следует заметить, что форма поперечного сечения проектируемых в настоящее время тоннелей весьма разнообразна: прямоугольная, трапецевидная, полигональная, подковообразная, сводчатая, эллиптическая, круговая. В настоящей работе рассматривается круговая форма.

1. Используя для исследований модельный подход, представим тоннель как бесконечно длинную круговую цилиндрическую полость радиусом  $r = R$ , расположенную в линейно-упругом, однородном и изотропном полупространстве. Пусть в декартовой системе координат ось  $z$  совпадает с осью полости, параллельной свободной от нагрузок плоской границе полупространства (земной поверхности), а ось  $x$  перпендикулярна к этой границе:  $x \leq h$ , где  $h$  – расстояние от оси тоннеля до земной поверхности.

По поверхности полости в направлении оси  $z$  с постоянной скоростью  $c$ , меньшей, чем скорость распространения волн сдвига в среде (дозвуковой случай), движется нагрузка интенсивностью  $P$ :

$$\sigma_{rj}|_{r=R} = P_j(\theta, \eta), \quad j = r, \theta, \eta, \quad (1)$$

где  $\sigma_{rj}$  – компоненты тензора напряжений в среде,  $P_j(\theta, \eta)$  – составляющие интенсивности подвижной нагрузки в подвижной цилиндрической системе координат  $(r, \theta, \eta = z - ct)$ .

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

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xy} = \sigma_{x\eta} = 0. \quad (2)$$

Движение полупространства описывается динамическими уравнениями теории упругости в подвижной системе координат

$$\left( \frac{1}{M_p^2} - \frac{1}{M_s^2} \right) \text{grad div } \mathbf{u} + \frac{1}{M_s^2} \nabla^2 \mathbf{u} = \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial \eta^2}. \quad (3)$$

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;  $\lambda = 2\mu\nu/(1-2\nu)$ ;  $\mu$  – модуль сдвига;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\rho$  – плотность;  $\nabla^2$  – оператор Лапласа.

Преобразуем уравнение (3), выразив вектор смещения упругой среды через потенциалы Ламе [1]

$$\mathbf{u} = \text{grad } \varphi_1 + \text{rot } \psi. \quad (4)$$

Потенциал  $\psi$  можно представить в виде

$$\psi = \varphi_2 \mathbf{e}_\eta + \text{rot}(\varphi_3 \mathbf{e}_\eta),$$

где  $\mathbf{e}_\eta$  – орт оси  $\eta$ .

Из (3) и (4) следует, что потенциалы  $\varphi_j$  удовлетворяют видоизмененным волновым уравнениям

$$\nabla^2 \varphi_j = M_j^2 \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \eta^2}, \quad j = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Здесь  $M_1 = M_p, M_2 = M_3 = M_s$ .

Применив к (5) преобразование Фурье по  $\eta$ , находим

$$\nabla_2^2 \varphi_j^* - m_j^2 \xi^2 \varphi_j^* = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (6)$$

где  $\nabla_2^2$  – двумерный оператор Лапласа,  $m_j^2 = 1 - M_j^2, m_1 \equiv m_p, m_2 = m_3 \equiv m_s$ ,

$$\varphi_j^*(r, \theta, \xi) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_j(r, \theta, \eta) e^{-i\xi\eta} d\eta.$$

Выразив компоненты напряжённо-деформированного состояния (НДС) среды через потенциалы Ламе и применив преобразование Фурье по  $\eta$ , можно получить выражения для трансформант перемещений  $u_i^*$  и напряжений  $\sigma_{im}^*$  в декартовой ( $l=x, y, \eta, m=x, y, \eta$ ) и цилиндрической ( $l=r, \theta, \eta, m=r, \theta, \eta$ ) системах координат как функции от  $\varphi_j^*$ .

В дозвуковом случае  $M_s < 1$  ( $m_2 = m_3 = m_s > 0$ ) и решения уравнений (6) можно представить через суперпозиции поверхностных цилиндрических  $\Phi_j^{(1)}$  и плоских  $\Phi_j^{(2)}$  волн

$$\varphi_j^* = \Phi_j^{(1)} + \Phi_j^{(2)}, \quad (7)$$

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

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

Как показано в [2], представление потенциалов в форме (7) приводит к следующим выражениям для трансформант потенциалов в декартовой системе координат:

$$\varphi_j^* = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{e^{-xf_j}}{2f_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} \Phi_{nj} + g_j(\xi, \zeta) e^{(x-h)f_j} \right] e^{iy\zeta} d\zeta, \quad (8)$$

где  $f_j = \sqrt{\zeta^2 + k_j^2}, \quad \Phi_{nj} = \left( \frac{\zeta + f_j}{k_j} \right)^n, \quad j = 1, 2, 3.$

Воспользуемся переписанными для трансформант граничными условиями (2) с учетом (8). Выделяя коэффициенты при  $e^{iy\zeta}$  и приравнявая, в силу произвольности  $y$ , их нулю, получим систему трех алгебраических уравнений, из которой выражаем  $g_j(\xi, \zeta)$  через коэффициенты  $a_{nj}$ :

$$g_j(\xi, \zeta) = \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} e^{-hf_k} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nk} \Phi_{nk}. \quad (9)$$

Здесь  $\Delta_* = (2\rho_*^2 - \beta^2)^2 - 4\rho_*^2 \sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2} \sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}$ ,

$$\Delta_{11}^* = \frac{\Delta_*}{2\sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2}} - \frac{(2\rho_*^2 - \beta^2)^2}{\sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2}}, \Delta_{12}^* = -2\zeta(2\rho_*^2 - \beta^2), \Delta_{13}^* = 2\xi(2\rho_*^2 - \beta^2)\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2},$$

$$\Delta_{21}^* = -\frac{M_s^2}{m_s^2} \Delta_{12}^*, \Delta_{22}^* = -\frac{\Delta_{**}}{2\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}}, \Delta_{23}^* = -4\xi\zeta \frac{M_s^2}{m_s^2} \sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2} \sqrt{\rho_*^2 - \beta^2},$$

$$\Delta_{31}^* = -\frac{\Delta_{13}^*}{m_s^2 \xi^2}, \Delta_{32}^* = \frac{\Delta_{21}^*}{\beta^2}, \Delta_{33}^* = -\frac{\Delta_{**}}{2\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}} + \frac{(2\rho_*^2 - \beta^2)^2}{\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}},$$

$$\alpha = M_p \xi, \beta = M_s \xi, \rho_*^2 = \xi^2 + \zeta^2, \Delta_{**} = (2\rho_*^2 - \beta^2)^2 - 4\rho_*^2 \sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2} \sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}, \rho_{**}^2 = \xi^2 + (2/m_s^2 - 1)\zeta^2.$$

Заметим, что  $\Delta_*(\rho_*)$  – определитель Рэлея, который обращается в ноль при  $\rho_{*R}^2 = \xi^2 M_R^2$ , или в двух точках  $\pm \zeta_R = \pm |\xi| \sqrt{M_R^2 - 1}$ , где  $M_R = c/c_R$  – число Маха,  $c_R$  – скорость поверхностной волны Рэлея. Из последнего следует, что  $\Delta_*(\rho_*)$  не обращается в ноль, если  $M_R < 1$ , или  $c < c_R$ , то есть при дорэлеевских скоростях движения нагрузки. В этом случае условия существования преобразования Фурье выполняются и для вычислений интегралов (8), с учётом (9), можно воспользоваться одним из численных методов интегрирования, предварительно определив коэффициенты  $a_{nj}$ . Следует отметить, что рэлеевская скорость  $c_R$  несколько ниже (на 5÷10%) скорости волн сдвига в среде.

Для дорэлеевской скорости движущейся нагрузки соотношения (8) переписутся в виде

$$\Phi_j^* = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \frac{e^{-xf_j}}{2f_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} \Phi_{nj} + e^{(x-h)f_j} \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} e^{-hf_k} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nk} \Phi_{nk} \right] e^{iy\zeta} d\zeta. \quad (10)$$

Представим  $\Phi_j^*$  (7) в цилиндрической системе координат  $(r, \theta, \eta)$  при  $c < c_R$ . Воспользовавшись разложением [3]  $e^{ikr \cos \theta} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n J_n(kr) e^{in\theta}$ , находим,

что

$$\exp(iy\zeta + (x-h)\sqrt{\zeta^2 + k^2}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} I_n(kr) e^{in\theta} \left( \frac{\zeta + \sqrt{\zeta^2 + k^2}}{k} \right)^n e^{-h\sqrt{\zeta^2 + k^2}}.$$

Тогда:

$$\Phi_j^* = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left( a_{nj} K_n(k_j r) + I_n(k_j r) \int_{-\infty}^{\infty} g_j(\xi, \zeta) \Phi_{nj} e^{-hf_j} d\zeta \right) e^{in\theta}.$$



Подставляя в последнее выражение из (9)  $g_j(\xi, \zeta)$ , получим

$$\varphi_j^* = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (a_{nj} K_n(k_j r) + b_{nj} I_n(k_j r)) e^{in\theta}, \quad (11)$$

где  $b_{nj} = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_{mk} A_{nj}^{mk}$ ,  $A_{nj}^{mk} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} \Phi_{mk} \Phi_{nj} e^{-h(f_k + f_j)} d\zeta$ .

Для определения коэффициентов  $a_{nj}$  воспользуемся граничными условиями (1), представив их в виде

$$\sigma_{rj}^* \Big|_{r=R} = P_j^*(\theta, \xi), \quad j = r, \theta, \eta, \quad (12)$$

где  $P_j^*(\theta, \xi) = p_j(\theta) p_j^*(\xi)$ ,  $p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}$ ,  $p_j^*(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} p_j(\eta) e^{-i\xi\eta} d\eta$ ,

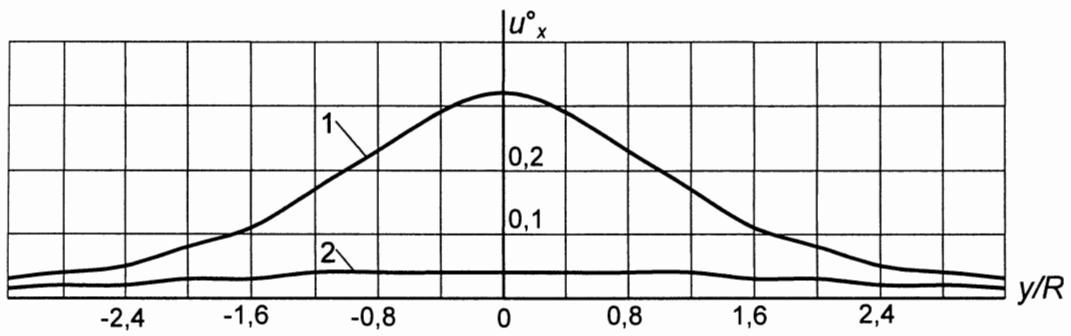
$$j = r, \theta, \eta.$$

Подставляя в (12) с учетом (11) соответствующие выражения для трансформант напряжений и приравнивая коэффициенты рядов Фурье-Бесселя при  $e^{in\theta}$ , получим бесконечную систему линейных алгебраических уравнений, для решения которой можно использовать метод последовательных отражений (приближений) [4]. Как показали исследования [4], при дорэлеевских скоростях движения нагрузки определитель данной системы не обращается в ноль.

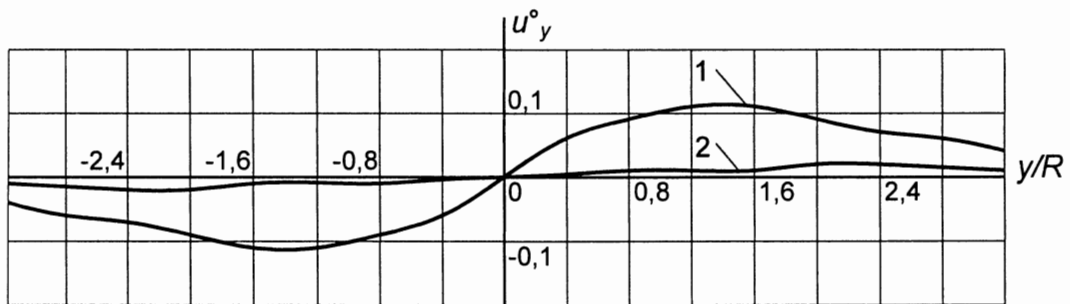
После определения коэффициентов  $a_{nj}$ , используя обратное преобразование Фурье, можно вычислить компоненты НДС полупространства в декартовой и цилиндрической системах координат. Окончательное решение будет зависеть от вида движущейся нагрузки.

2. В качестве примера рассмотрим действие на тоннель радиусом  $R = 1$  м движущейся со скоростью  $c = 100$  м/с осесимметричной цилиндрической нормальной нагрузки давления при разной глубине его заложения в алевролите ( $\lambda = 1,688 \cdot 10^3$  МПа,  $\mu = 2,532 \cdot 10^3$  МПа,  $\rho = 2,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_p = 1643,4$  м/с,  $c_s = 1006,4$  м/с,  $c_R = 917$  м/с). Интенсивность нагрузки, равномерно распределенной в интервале  $|\eta| \leq 0,2R$ , выбираем таким образом, чтобы общая нагрузка по всей длине участка нагружения равнялась сосредоточенной нормальной кольцевой нагрузке  $P^\circ$ . Введём обозначения:  $u_l^\circ = u_l \mu / P^\circ$ , м,  $\sigma_{lm}^\circ = \sigma_{lm} / P^\circ$ ,  $l = x, y, \eta$ ,  $m = x, y, \eta$ .

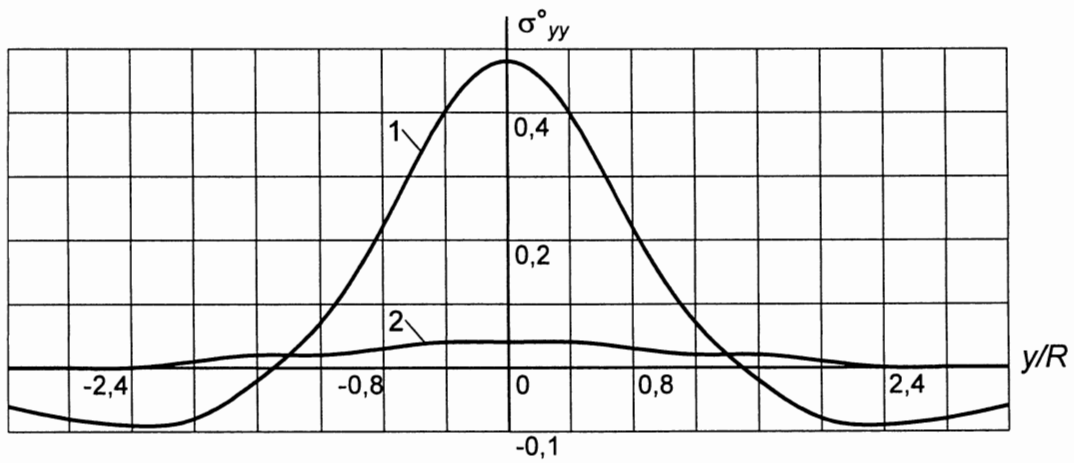
Из графиков, иллюстрирующих динамическое поведение земной поверхности в подвижной координатной плоскости  $x\eta$  (рис. 1), видно, что максимальные значения прогибы  $u_x$  и нормальные напряжения  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{\eta\eta}$  принимают при  $y = 0$  ( $u_y$  здесь равно нулю), а экстремальные горизонтальные перемещения  $u_y$  – при  $y = \pm 1,3R$  – для тоннеля глубиной заложения  $h = 2,0R$ , и при  $y = \pm 2,4R$  – для тоннеля глубиной заложения  $h = 4,0R$ .



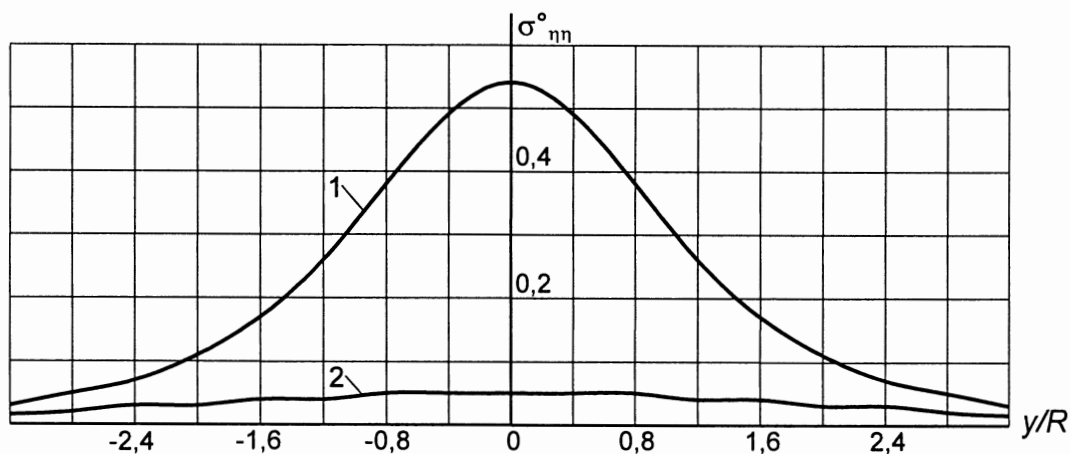
a



б



в



z

Обозначения кривых:  $h/R = 2,0$  (1),  $h/R = 4,0$  (2).

Рис. 1. Изменения компонент НДС земной поверхности в подвижной координатной плоскости  $x\eta$

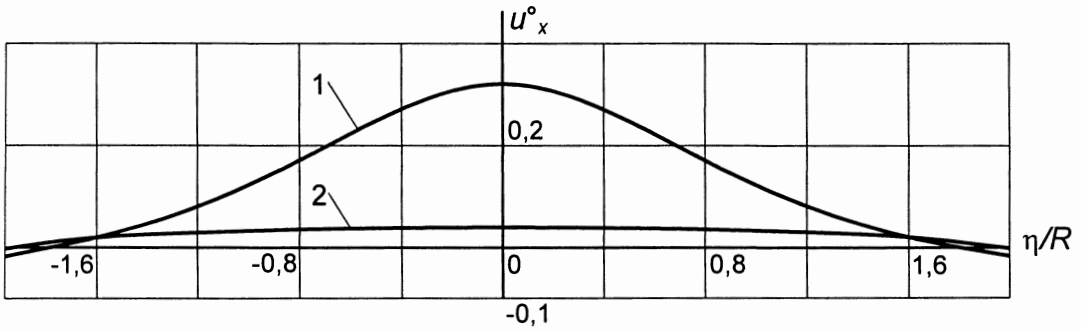
Для тоннеля глубиной заложения  $h = 2,0R$  с увеличением  $|y|$  наблюдается быстрое затухание компонент напряженно-деформированного состояния земной поверхности, и при  $|y| > 3R$  они становятся практически незначительными.

Затухание напряжений и перемещений при глубине заложения  $h = 4,0R$  происходит медленней. Их значения в этом случае намного меньше, чем в предыдущем. То есть с увеличением глубины заложения в два раза динамическое воздействие движущейся нагрузки на земную поверхность существенно снижается. При этом, однако, максимальный прогиб земной поверхности составляет 8% от наибольшего радиального смещения контура поперечного сечения тоннеля. Поэтому воздействие движущейся нагрузки на земную поверхность хотя и мало, но всё же еще ощутимо, если допускаемая погрешность по критерию перемещений земной поверхности составляет 5%. Очевидно, что при увеличении глубины заложения это воздействие будет уменьшаться.

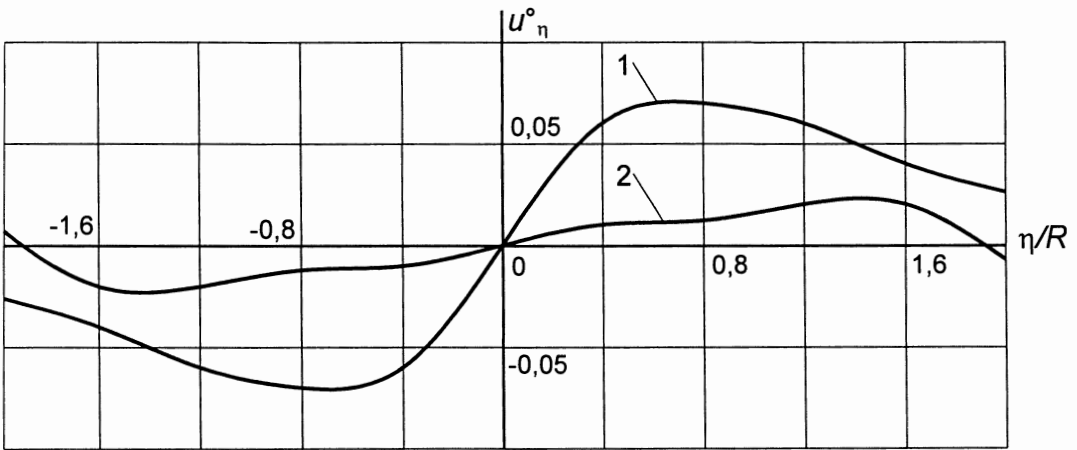
Затухание компонент напряженно-деформированного состояния земной поверхности вдоль оси  $\eta$  (в координатной плоскости  $x\eta$ ) происходит аналогично. Как видно из рис. 2, экстремальных значений нормальные перемещения и напряжения достигают при  $\eta = 0$ , а равные при этом нулю осевые смещения  $u_\eta$  экстремальны при  $\eta \approx \pm 0,8R$  – для тоннеля глубиной заложения  $h = 2,0R$ , и при  $\eta \approx \pm 1,6R$  – для тоннеля глубиной заложения  $h = 4,0R$ .

Экстремальные горизонтальные смещения земной поверхности  $u_\eta$  и  $u_y$ , происходящие в разных точках, как и их сочетание с наибольшей геометри-

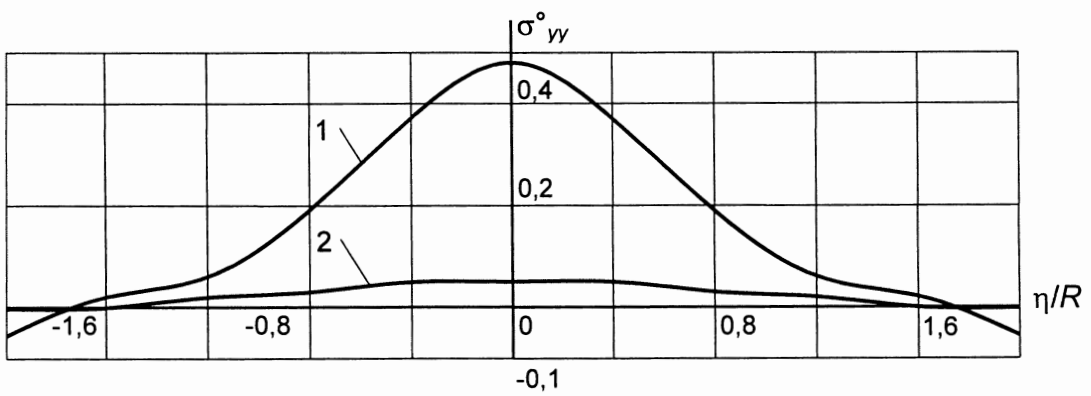
ческой суммой, могут оказать негативное влияние на расположенные вблизи тоннеля здания и сооружения вследствие их сдвига в основании.



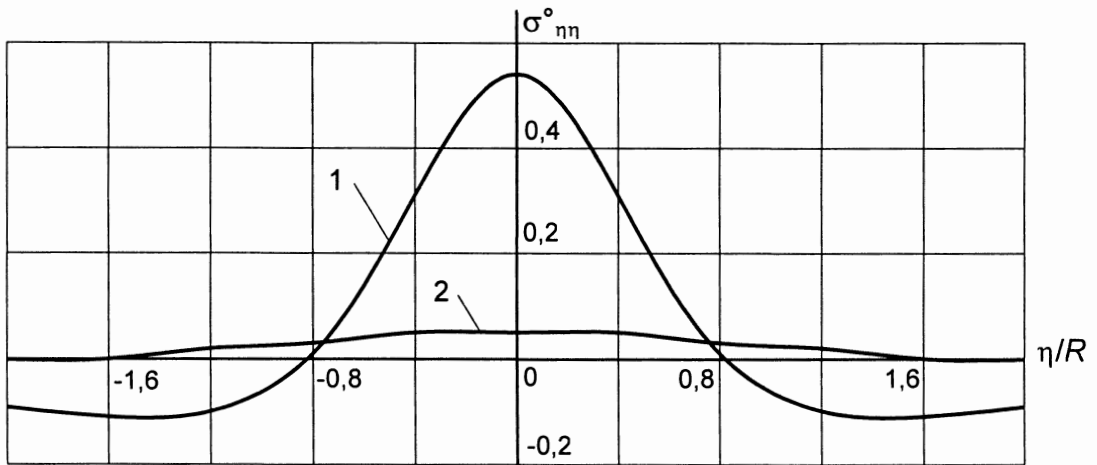
a



б



в



2

Обозначения кривых:  $h/R = 2$  (1),  $h/R = 4$  (2).

Рис. 2. Изменения компонент НДС земной поверхности в координатной плоскости  $\xi\eta$

Работа выполнена при поддержке гранта 0898/ГФ2, 0112РК02221 МОН РК.

#### **Литература:**

1. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.
2. Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А., Украинец В.Н. Влияние свободной поверхности на тоннель мелкого заложения при действии подвижных нагрузок //Изв. АН КазССР. – Сер. физ.-мат. – 1986. – № 5. – С. 75-80.
3. Иванов Е.А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах. – Мн.: Наука и техника, 1968. – 584 с.
4. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А. Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 240 с.