

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ҚазҰТУ ХАБАРШЫСЫ _____

_____ **ВЕСТНИК**

VESTNIK KazNTU _____

№2 (108)

Главный редактор
Ж.М. Адилов –
академик, доктор экономических наук, профессор

Зам. главного редактора
Е.И. Кульдеев –
проректор по науке и инновационной деятельности

Отв. секретарь
Н.Ф. Федосенко

Редакционная коллегия:

С.Б. Абдыгаппарова, Б.С. Ахметов, Г.Т. Балакаева, К.К. Бегалинова, В.И. Волчихин (Россия), Д. Харнич (США), К. Дребенштед (Германия), И.Н. Дюсембаев, Г.Ж. Жолтаев, С.Е. Кудайбергенов, С.Е. Кумеков, В.А. Луганов, С.С. Набойченко – член-корр. РАН, И.Г. Милев (Германия), С. Пежовник (Словения), Б.Р. Ракишев – акад. НАН РК, М.Б. Панфилов (Франция), Н.Т. Сайлаубеков, Н.С. Сеитов – член-корр. НАН РК, А.Т. Турдалиев, Г.Т. Турсунова.

Учредитель:

Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева

Регистрация:

Министерство культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан № 951 – Ж “25” 11. 1999 г.

Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год

Адрес редакции:

г. Алматы, ул. Сатпаева, 22,
каб. 904, тел. 292-63-46
n.fedossenko @ ntu.kz

Номер журнала: №2 (108)

Дата публикации: 2015-04-08

Количество статей: 110

[Список статей](#)

Особенности перевозки крупнотоннажных контейнеров в смешанном автомобильно-железнодорожном сообщении

Автор: Г.В. Муратбекова, Д.А. Мырзадилов

[Скачать](#)

Способы моделирования и управление бизнес-процессами

Автор: Жаркевич О.М., Нуржанова О.А., Сембаева Ж.Е.

[Скачать](#)

К вопросу подготовки и дипломирования морских кадров с учетом имплементации международной конвенции ПДМНВ-2010

Автор: Сатжанов Б.С., Дуйсалиев Ж.С.

[Скачать](#)

Исследование возможности капсулирования комплексного минерального удобрения на основе техногенных отходов полиэлектролитом ЭППАН

Автор: Маханбетова А.М., Бейсенбаев О.К.

[Скачать](#)

Повышение эксплуатационных характеристик деталей тепловых электростанций ионно-плазменными методами

Автор: Платонова Е.С., Жетесова Г.С., Юров В.М., Гученко С.А.

[Скачать](#)

Осуществление концепций эко дома

Автор: Елишибек Г.А., Муканова Г.А.

[Скачать](#)

Формирование потребительских свойств у новых видов плавленых сыров с помощью математического моделирования

Автор: Алимарданова М.К., Тлелесова Д.А., Диханбаева Ф.Т., Смаилова Ж.Ж.

[Скачать](#)

Принцип моделирования разрушенных горных масс в лабораторных условиях

Автор: Жарспаев М., Мустафина К., Умбетова А., Пиржанова Г., Абилжанов Д., Казтай М.

[Скачать](#)

Влияние гидродинамических характеристик электролита на распределение температуры обрабатываемой стальной детали при электролитном нагреве

Автор: Сапатаев Е.Е., Скаков М.К., Батырбеков Э.Г.

[Скачать](#)

Моделирование свободного падения тела с учетом сопротивления воздуха и решение в среде Mathcad

Автор: Нысанов Е.А., Куракбаева С.Д., Нургожаева Р.Е.

[Скачать](#)

Система «e-learning» – новая парадигма и качественное образование в сфере услуг образования

Автор: Жакыпбекова Г.Т., Журсинбекова Д.М.

[Скачать](#)

Неоднозначность критериев оценки деятельности ученых, занимающихся фундаментальными вопросами науки

Автор: Сеитов Н.

[Скачать](#)

К вопросу исследования остаточных напряжений в поверхности наплавленных изделий

Автор: Каржаубаев А.С.

[Скачать](#)

Разработка систем определения геометрических параметров, при распознавании поверхностей на центральном и графическом процессорах

Автор: Кудубаева С.Э., Жирлыкасов Б.Ж.

[Скачать](#)

Разработка и исследования технологии очистки сточных вод красильно-отделочных производств

Автор: Муташиева Г.С., Мамитова А.Д.

[Скачать](#)

Термодинамические аспекты адсорбции в слое пористого материала

Автор: Ботабаев Н.Е., Сырманова К.К., Негим Э.С., Калдыбекова Ж.Б.

[Скачать](#)

Программно-аппаратный комплекс для реализации сигнала вим для телеметрической системы

Автор: Байкуаныш С.Б., Мирманов А.Б., Алимбаев, Акмалаев К.А., Толегенова А.С.

[Скачать](#)

Разработка имитационной модели корпоративной сети на основе VPN

Автор: Акмалаев К.А., Касимов А.О., Абишева А.К., Толегенова А.С., Айтжанова Н.Т., Тунгышбайулы К., Кенебаева Д.Б.

[Скачать](#)

Анализ работ по проведению гидроразрыва пластов, опубликованных в «Нефтяном хозяйстве» 2013–2014 гг.

Автор: Баймаханов Г.А., Помашев О.П., Сарыбаев М.А.

[Скачать](#)

Оценка дискового тормозного механизма автомобиля

Автор: Кунгуров А.Р.

[Скачать](#)

Применение интерактивных методов в тестировании для управления мотивацией обучающихся

Автор: Г.С. Ыбытаева, Т.В. Яскевич

[Скачать](#)

Взаимосвязь экспериментальных параметров спектральной плотности излучателя

Автор: Т.Б. Бегимов, М.С. Кушпанов, К.М. Оспанов

[Скачать](#)

Применение установок винтовых насосов с поверхностным приводом – один из путей повышения рентабельности малодебитных скважин

Автор: Б.М. Ишанбаев, М.М. Чажбаева

[Скачать](#)

Общий обзор графической системы Mac OS Apple

Автор: Жуманазарова А.М., Койшыбаева Ж.Б.

[Скачать](#)

Инвариантная количественная оценка шрифта

Автор: Емелхан А.Б., Ахметова А.Е., Тягунов А.Г., Сергеев А.П., Турлыбаева Б.Ж.

[Скачать](#)

Влияние контактных условий двухслойной обделки тоннеля глубокого заложения с массивом на его напряжённо-деформированное состояние при действии транспортной нагрузки

Автор: Украинец В.Н., Отарбаев Ж.О., Гирнис С.Р.

¹В.Н. Украинец, ²Ж.О. Отарбаев, ¹С.Р. Гирнис

(¹Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, Павлодар,

²Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева
Алматы, Республика Казахстан)

ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНЫХ УСЛОВИЙ ДВУХСЛОЙНОЙ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ С МАССИВОМ НА ЕГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация. На основе решения задачи о действии бегущей нагрузки на двухслойную оболочку в упругом пространстве исследуется влияние контактных условий сталебетонной обделки тоннеля глубокого заложения с массивом на его напряженно-деформированное состояние при действии транспортной нагрузки (нагрузки от движущегося внутритоннельного транспорта).

Ключевые слова: тоннель, слоистая оболочка, транспортная нагрузка, напряженно-деформированное состояние.

1. Постановка и аналитическое решение модельной задачи. Используя модельный подход, представим подкрепленный двухслойной обделкой тоннель глубокого заложения как цилиндрическую полость радиусом R_1 в бесконечной, линейно-упругой, однородной и изотропной среде (массиве). Полость подкреплена двухслойной оболочкой, внутренним слоем которой является толстостенная оболочка, а наружным – тонкостенная оболочка толщиной h_0 . Условимся внутренний слой называть несущим слоем, а наружный – ограждающим слоем. В силу малости толщины ограждающего слоя можно принять, что он контактирует с несущим слоем и массивом вдоль своей срединной поверхности радиусом R_1 . Контакт между слоями оболочки, а также контакт между ограждающим слоем и массивом будем полагать либо жёстким, либо скользящим при двусторонней связи в радиальном направлении. Пусть на внутреннюю поверхность несущего слоя радиусом R_2 действует транспортная нагрузка интенсивностью P , движущаяся с постоянной скоростью c в направлении оси Z (совпадающей с осью оболочки) цилиндрической системы координат r, θ, z . Скорость движения нагрузки принимаем дозвуковой, т.е. меньше скоростей распространения волн сдвига в несущем слое и массиве, – характерной для современных транспортных средств. Физико-механические свойства материала массива и несущего слоя характеризуются следующими постоянными: $\nu_1, \mu_1, \rho_1; \nu_2, \mu_2, \rho_2$, где ν_k – коэффициент Пуассона, μ_k – модуль сдвига, ρ_k – плотность ($k = 1, 2$). Здесь и в дальнейшем индекс $k = 1$ относится к массиву, а $k = 2$ – к несущему слою.

Так как рассматривается установившийся процесс, то картина деформаций стационарна по отношению к движущейся нагрузке. Поэтому можно использовать подвижную цилиндрическую систему координат $r, \theta, \eta = z - ct$.

Для описания движения ограждающего слоя воспользуемся классическими уравнениями теории тонких оболочек

$$\left[1 - \frac{(1 - \nu_0)\rho_0 c^2}{2\mu_0} \right] \frac{\partial^2 u_{0\eta}}{\partial \eta^2} + \frac{1 - \nu_0}{2R_1^2} \frac{\partial^2 u_{0\eta}}{\partial \theta^2} + \frac{1 + \nu_0}{2R_1} \frac{\partial^2 u_{0\theta}}{\partial \eta \partial \theta} + \frac{\nu_0}{R_1} \frac{\partial u_{0r}}{\partial \eta} = \frac{1 - \nu_0}{2\mu_0 h_0} (q_\eta - q_{\eta R_1}),$$

$$\frac{1 + \nu_0}{2R_1} \frac{\partial^2 u_{0\eta}}{\partial \eta \partial \theta} + \frac{(1 - \nu_0)}{2} \left(1 - \frac{\rho_0 c^2}{\mu_0} \right) \frac{\partial^2 u_{0\theta}}{\partial \eta^2} + \frac{1}{R_1^2} \frac{\partial^2 u_{0\theta}}{\partial \theta^2} + \frac{1}{R_1^2} \frac{\partial u_{0r}}{\partial \theta} = \frac{1 - \nu_0}{2\mu_0 h_0} (q_\theta - q_{\theta R_1}), \quad (1)$$

$$\frac{\nu_0}{R_1} \frac{\partial u_{0\eta}}{\partial \eta} + \frac{1}{R_1^2} \frac{\partial u_{0\theta}}{\partial \theta} + \frac{h_0^2}{12} \nabla^2 \nabla^2 u_{0r} + \frac{(1 - \nu_0)\rho_0 c^2}{2\mu_0} \frac{\partial^2 u_{0r}}{\partial \eta^2} + \frac{u_{0r}}{R_1^2} = -\frac{1 - \nu_0}{2\mu_0 h_0} (q_r - q_{r R_1}).$$

Здесь $u_{0r}, u_{0\theta}, u_{0\eta}$ – перемещения точек срединной поверхности ограждающего слоя в направлении осей цилиндрической системы координат r, θ, η ; $q_j = \sigma_{rj2}|_{r=R_1}, q_{jR_1} = \sigma_{rj1}|_{r=R_1}$ – составляющие реакции несущего слоя и массива ($j = \eta, \theta, r$); $\sigma_{rj2}, \sigma_{rj1}$ – компоненты тензора напряжений в несущем слое и массиве; ν_0, μ_0, ρ_0 – соответственно коэффициент Пуассона, модуль сдвига и плотность материала ограждающего слоя; ∇^2 – оператор Лапласа.

Для описания движения массива и несущего слоя используем динамическими уравнениями теории упругости

$$(M_{pk}^{-2} - M_{sk}^{-2}) \text{grad div } \mathbf{u}_k + M_{sk}^{-2} \nabla^2 \mathbf{u}_k = \partial^2 \mathbf{u}_k / \partial \eta^2, \quad k = 1, 2, \quad (2)$$

где $M_{pk} = c / c_{pk}, M_{sk} = c / c_{sk}$ – числа Маха; $c_{pk} = \sqrt{(\lambda_k + 2\mu_k) / \rho_k}, c_{sk} = \sqrt{\mu_k / \rho_k}$ – скорости распространения волн расширения-сжатия и сдвига в массиве и несущем слое, $\lambda_k = 2\mu_k \nu_k / (1 - 2\nu_k)$; \mathbf{u}_k – вектора смещений точек массива и несущего слоя.

Выразим векторы \mathbf{u}_k через потенциалы Ламе

$$\mathbf{u}_k = \text{grad } \varphi_{1k} + \text{rot}(\varphi_{2k} \mathbf{e}_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_{3k} \mathbf{e}_\eta), \quad k = 1, 2, \quad (3)$$

которые, как следует из (2) и (3), удовлетворяют уравнениям

$$\nabla^2 \varphi_{jk} = M_{jk}^2 \partial^2 \varphi_{jk} / \partial \eta^2, \quad j = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, \quad (4)$$

где \mathbf{e}_η – орт оси η , $M_{1k} = M_{pk}, M_{2k} = M_{3k} = M_{sk}$.

Через эти же потенциалы можно выразить компоненты тензоров напряжений в массиве и несущем слое σ_{lmk} , связанные с компонентами векторов перемещений u_{lk} законом Гука ($l, m = r, \theta, \eta; k = 1, 2$).

Применив к (4) преобразование Фурье по η , находим

$$\nabla_2^2 \varphi_{jk}^* - m_{jk}^2 \xi^2 \varphi_{jk}^* = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, \quad (5)$$

где ∇_2^2 – двумерный оператор Лапласа, $m_{jk}^2 = 1 - M_{jk}^2, m_{1k} \equiv m_{pk}, m_{2k} = m_{3k} \equiv m_{sk}$,

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

Аналогично можно получить выражения для трансформант перемещений u_{lk}^* и напряжений σ_{lmk}^* ($l, m = r, \theta, \eta; k = 1, 2$) как функции от φ_{jk}^* .

При дозвуковой скорости движения нагрузки $M_{sk} < 1$ ($m_{sk} > 0$), и решения (5) можно представить в виде:

- для массива

$$\varphi_{j1}^* = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} K_n(k_{j1} r) e^{in\theta}, \quad (6, a)$$

- для несущего слоя

$$\varphi_{j2}^* = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (a_{nj+3} K_n(k_{j2} r) + a_{nj+6} I_n(k_{j2} r)) e^{in\theta}. \quad (6, б)$$

Здесь $j = 1, 2, 3, k_{j1} = |m_{j1} \xi|, k_{j2} = |m_{j2} \xi|$; $I_n(kr), K_n(kr)$ – функции Бесселя первого и второго рода от мнимого аргумента, a_{n1}, \dots, a_{n9} – неизвестные коэффициенты, подлежащие определению.

Подставляя (6,а), (6,б) в выражения для трансформант перемещений u_{ik}^* и напряжений σ_{ijk}^* , можно получить выражения для u_{ik}^* и σ_{ijk}^* с неизвестными коэффициентами a_{n1}, \dots, a_{n9} , для определения которых следует воспользоваться граничными условиями.

Применив к (1) преобразование Фурье по η и разлагая функции перемещений точек срединной поверхности ограждающего слоя в ряды Фурье по θ , для n -го члена разложения получим

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^2 u_{0m\eta} + \nu_{02} n \xi_0 u_{0n\theta} - 2i\nu_{01} \xi_0 u_{0nr} &= G_0 (q_{m\eta} - q_{m\eta R_1}), \\ \nu_{02} n \xi_0 u_{0m\eta} + \varepsilon_2^2 u_{0n\theta} - 2inu_{0nr} &= G_0 (q_{n\theta} - q_{n\theta R_1}), \\ 2i\nu_{01} \xi_0 u_{0m\eta} + 2inu_{0n\theta} + \varepsilon_3^2 u_{0nr} &= G_0 (q_{nr} - q_{nr R_1}), \end{aligned} \quad (7)$$

где $\varepsilon_1^2 = \alpha_0^2 - \varepsilon_0^2$, $\varepsilon_2^2 = \beta_0^2 - \varepsilon_0^2$, $\varepsilon_3^2 = \gamma_0^2 - \varepsilon_0^2$, $\xi_0 = \xi R_1$,

$$\alpha_0^2 = 2\xi_0^2 + \nu_{01} n^2, \quad \beta_0^2 = \nu_{01} \xi_0^2 + 2n^2, \quad \gamma_0^2 = \chi^2 (\xi_0^2 + n^2)^2 + 2, \quad \varepsilon_0^2 = \nu_{01} \xi_0^2 M_{s0}^2,$$

$$\nu_{01} = 1 - \nu_0, \quad \nu_{02} = 1 + \nu_0, \quad M_{s0} = c / c_{s0}, \quad c_{s0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\rho_0}}, \quad \chi^2 = \frac{h_0^2}{6R_1^2}, \quad G_0 = -\frac{\nu_{01} R_1^2}{\mu_0 h_0};$$

$q_{nj} = (\sigma_{rj2}^*)_n|_{r=R_1}$, $q_{njR_1} = (\sigma_{rj1}^*)_n|_{r=R_1}$, $j = \eta, \theta, r$; u_{0nm} – коэффициенты разложения

$$u_{0m}^*(\theta, \xi) = \int_{-\infty}^{\infty} u_{0m}(\theta, \eta) e^{-i\xi\eta} d\eta \text{ в ряды Фурье по угловой координате } \theta \text{ (} m = \eta, \theta, r \text{)}.$$

Разрешая (7) относительно $u_{0m\eta}$, $u_{0n\theta}$, u_{0nr} , находим

$$\begin{aligned} u_{0m\eta} &= \frac{G_0}{\delta_n} \sum_{j=1}^3 \delta_{\eta j} (q_{nj} - q_{njR_1}), \\ u_{0n\theta} &= \frac{G_0}{\delta_n} \sum_{j=1}^3 \delta_{\theta j} (q_{nj} - q_{njR_1}), \\ u_{0nr} &= \frac{G_0}{\delta_n} \sum_{j=1}^3 \delta_{rj} (q_{nj} - q_{njR_1}). \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $\delta_n = \delta_{|n|} = (\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3)^2 - (\varepsilon_1 \xi_1)^2 - (\varepsilon_2 \xi_2)^2 - (\varepsilon_3 \xi_3)^2 + 2\xi_1 \xi_2 \xi_3$,

$$\delta_{\eta 1} = (\varepsilon_2 \varepsilon_3)^2 - \xi_1^2, \quad \delta_{\eta 2} = \xi_1 \xi_2 - \xi_3 \varepsilon_3^2, \quad \delta_{\eta 3} = i(\varepsilon_2^2 \xi_2 - \xi_1 \xi_3),$$

$$\delta_{\theta 1} = \delta_{\eta 2}, \quad \delta_{\theta 2} = (\varepsilon_1 \varepsilon_3)^2 - \xi_2^2, \quad \delta_{\theta 3} = i(\varepsilon_1^2 \xi_1 - \xi_2 \xi_3),$$

$$\delta_{r1} = -\delta_{\eta 3}, \quad \delta_{r2} = -\delta_{\theta 3}, \quad \delta_{r3} = (\varepsilon_1 \varepsilon_2)^2 - \xi_3^2, \quad \xi_1 = 2n, \quad \xi_2 = 2\nu_{01} \xi_0, \quad \xi_3 = \nu_{02} \xi_0 n,$$

для q_{nj} и q_{njR_1} индекс $j = 1$ соответствует индексу η , $j = 2 - \theta$, $j = 3 - r$.

Граничные условия можно представить в следующем виде:

а) при жестком сопряжении слоёв оболочки:

- в случае скользящего контакта оболочки с массивом

$$\text{при } r = R_1 \quad u_{r1}^* = u_{r2}^*, \quad u_{j2}^* = u_{0j1}, \quad \sigma_{r\eta 1}^* = 0, \quad \sigma_{r\theta 1}^* = 0,$$

$$\text{при } r = R_2 \quad \sigma_{rj2}^* = P_j^*(\theta, \xi), \quad j = r, \theta, \eta,$$

- в случае жёсткого контакта оболочки с массивом

$$\text{при } r = R_1 \quad u_{j1}^* = u_{j2}^*, \quad u_{j1}^* = u_{0j1},$$

$$\text{при } r = R_2 \quad \sigma_{rj2}^* = P_j^*(\theta, \xi), \quad j = r, \theta, \eta;$$

б) при скользящем сопряжении слоёв оболочки:

- в случае скользящего контакта оболочки с массивом

$$\text{при } r = R_1 \quad u_{r1}^* = u_{r2}^*, u_{r2}^* = u_{0r1}, \sigma_{r\eta 2}^* = 0, \sigma_{r\theta 2}^* = 0, \sigma_{r\eta 1}^* = 0, \sigma_{r\theta 1}^* = 0,$$

$$\text{при } r = R_2 \quad \sigma_{rj 2}^* = P_j^*(\theta, \xi), j = r, \theta, \eta,$$

- в случае жёсткого контакта оболочки с массивом

$$\text{при } r = R_1 \quad u_{r1}^* = u_{r2}^*, \sigma_{r\eta 2}^* = 0, \sigma_{r\theta 2}^* = 0, u_{j1}^* = u_{0j1},$$

$$\text{при } r = R_2 \quad \sigma_{rj 2}^* = P_j^*(\theta, \xi), j = r, \theta, \eta.$$

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

Разлагая $P_m^*(\theta, \xi)$ в ряды Фурье по угловой координате θ и приравнявая коэффициенты рядов при $e^{im\theta}$, получим бесконечную ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) систему линейных алгебраических уравнений блочно-диагонального вида для определения коэффициентов a_{n1}, \dots, a_{n9} . После определения коэффициентов, применяя обратное преобразование Фурье, можно вычислить компоненты напряженно-деформированного состояния среды и оболочки. При этом для вычисления интегралов Фурье можно использовать любой численный метод, если определители $\Delta_n(\xi, c)$ полученной для конкретных граничных условий системы уравнений не обращаются в ноль, т.е. в случае движения нагрузки с докритической скоростью [1].

2. Численные эксперименты. Исследуем напряженно-деформированное состояние (НДС) подкреплённого сталебетонной обделкой тоннеля глубокого заложения при воздействии движущейся с докритической скоростью $c = 100$ м/с транспортной нагрузки давления интенсивностью P° , равномерно распределённой по нижней половине внутренней поверхности несущего слоя ($R_2 = R = 1$ м) в интервале $|\eta| \leq 0,2R$. Параметры обделки: толстый несущий слой толщиной $h_c = R_1 - R_2$ – бетон ($\nu_2 = 0,2, \mu_2 = 1,21 \cdot 10^4$ МПа, $\rho_2 = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³, $c_{s2} = 2200$ м/с), ограждающий слой – тонкостенная стальная оболочка ($R_1 = 1,2R, h_0/R = 0,02; \nu_0 = 0,3, \mu_0 = 8,08 \cdot 10^4$ МПа, $\rho_0 = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³). Контакт между слоями обделки полагаем жёстким. Характеристики массива: $\nu_1 = 0,25, \mu_1 = \mu = 4,0 \cdot 10^3$ МПа, $\rho_1 = 2,6 \cdot 10^3$ кг/м³; $c_{s1} = 1240,35$ м/с [2].

В таблицах 1 – 3 представлены результаты расчёта НДС обделки и контактирующей с ней поверхности массива при различных условиях их сопряжения, из анализа которых следует, что граничные условия в месте контакта обделки с массивом ($r = 1,2R$) строго выполняются (обозначения в таблицах: $u_r^\circ = u_{r,\mu} / P^\circ$, м, $\sigma_{\theta\theta}^\circ = \sigma_{\theta\theta} / P^\circ$, $\sigma_{\eta\eta}^\circ = \sigma_{\eta\eta} / P^\circ$).

Таблица 1. Компоненты НДС внутренней поверхности бетонного слоя обделки в сечении $\eta = 0$

Комп. НДС	θ , град										
	0	20	40	60	80	90	100	120	140	160	180
Жёсткий контакт обделки с массивом											
u_r°	-0,027	-0,024	-0,018	-0,003	0,029	0,057	0,086	0,118	0,132	0,139	0,141
$\sigma_{\theta\theta}^\circ$	0,084	0,097	0,144	0,204	0,216	0,198	0,179	0,192	0,251	0,298	0,311
$\sigma_{\eta\eta}^\circ$	0,031	0,009	0,010	-0,059	-0,246	-0,565	-0,884	-1,072	-1,140	-1,139	-1,161
Скользящий контакт обделки с массивом											
u_r°	-0,040	-0,038	-0,028	-0,008	0,030	0,060	0,091	0,129	0,149	0,158	0,160
$\sigma_{\theta\theta}^\circ$	-0,314	-0,290	-0,152	0,032	0,182	0,219	0,256	0,406	0,590	0,728	0,752
$\sigma_{\eta\eta}^\circ$	-0,091	-0,110	-0,083	-0,120	-0,271	-0,568	-0,864	-1,015	-1,053	-1,025	-1,044

Таблица 2. Компоненты НДС наружной поверхности бетонного слоя отделки в сечении $\eta = 0$

Комп. НДС	θ , град										
	0	20	40	60	80	90	100	120	140	160	180
Жёсткий контакт отделки с массивом											
u_r°	-0,026	-0,023	-0,017	-0,005	0,020	0,046	0,072	0,098	0,109	0,116	0,119
$\sigma_{\theta\theta}^\circ$	0,065	0,064	0,112	0,076	0,041	0,232	0,422	0,388	0,352	0,400	0,399
$\sigma_{\eta\eta}^\circ$	-0,011	-0,018	-0,019	-0,029	-0,010	0,025	0,060	0,079	0,069	0,068	0,061
Скользящий контакт отделки с массивом											
u_r°	-0,037	-0,033	-0,026	-0,009	0,022	0,049	0,076	0,107	0,125	0,131	0,135
$\sigma_{\theta\theta}^\circ$	-0,374	-0,354	-0,282	-0,088	0,054	0,265	0,477	0,618	0,813	0,885	0,904
$\sigma_{\eta\eta}^\circ$	-0,163	-0,168	-0,139	-0,083	0,024	0,104	0,183	0,290	0,346	0,376	0,370

Таблица 3. Компоненты НДС контактирующей с отделкой поверхности массива в сечении $\eta = 0$

Комп. НДС	θ , град										
	0	20	40	60	80	90	100	120	140	160	180
Жёсткий контакт отделки с массивом											
u_r°	-0,026	-0,023	-0,017	-0,005	0,020	0,046	0,072	0,098	0,109	0,116	0,119
$\sigma_{\theta\theta}^\circ$	0,013	0,026	0,042	0,038	0,013	0,030	0,048	0,023	0,018	0,035	0,048
$\sigma_{\eta\eta}^\circ$	0,0	-0,002	-0,002	-0,003	-0,007	-0,038	-0,069	-0,073	-0,074	-0,074	-0,076
Скользящий контакт отделки с массивом											
u_r°	-0,037	-0,033	-0,026	-0,009	0,022	0,049	0,076	0,107	0,125	0,131	0,135
$\sigma_{\theta\theta}^\circ$	0,0	0,010	0,018	0,025	0,018	0,007	-0,004	-0,010	-0,003	0,005	0,015
$\sigma_{\eta\eta}^\circ$	0,008	-0,007	-0,005	-0,034	-0,084	-0,163	-0,242	-0,292	-0,321	-0,320	-0,335

В случае скользящего контакта максимальные радиальные перемещения u_r несущей и контактирующих поверхностей больше, чем при жёстком контакте (рис. 1, обозначения кривых: 1 – жёсткий контакт оболочки с массивом; 2 – скользящий контакт оболочки с массивом). При замене жёсткого контакта на скользящий происходит возрастание экстремальных значений нормальных напряжений $\sigma_{\theta\theta}$ на внутренней и наружной поверхностях бетонного слоя и их снижение на контактной поверхности массива. Экстремальные значения $\sigma_{\eta\eta}$, при этом, уменьшаются на внутренней поверхности бетонного слоя и увеличиваются на его наружной поверхности, а также на контактирующей с отделкой поверхности массива.

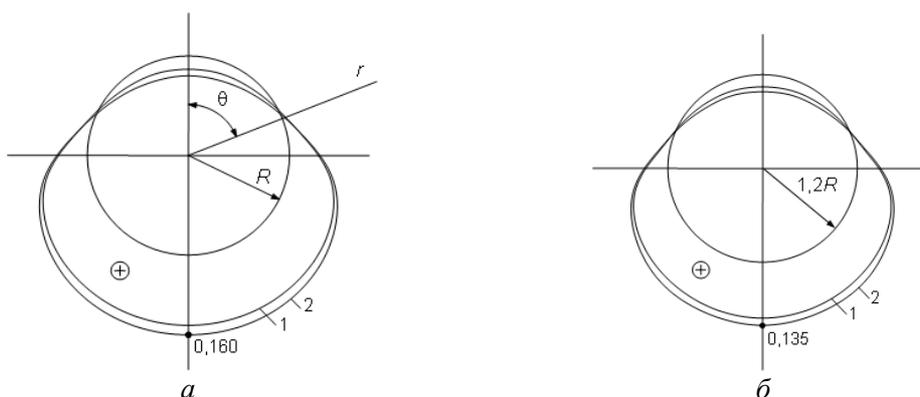


Рис. 1. Эпюры радиальных перемещений u_r , м на контуре поперечного сечения $\eta = 0$ внутренней (а) и наружной (б) поверхности бетонного слоя сталебетонной оболочки

При удалении в радиальном направлении от внутренней поверхности бетонного слоя, как видно из рис. 2 (обозначения кривых на рисунке соответствуют случаям: 1 – жёсткий контакт обделки с массивом; 2 – скользящий контакт обделки с массивом.), влияние контактных условий на радиальные смещения точек снижается и, как показывают расчёты, практически не сказывается на толщине динамически активного слоя.

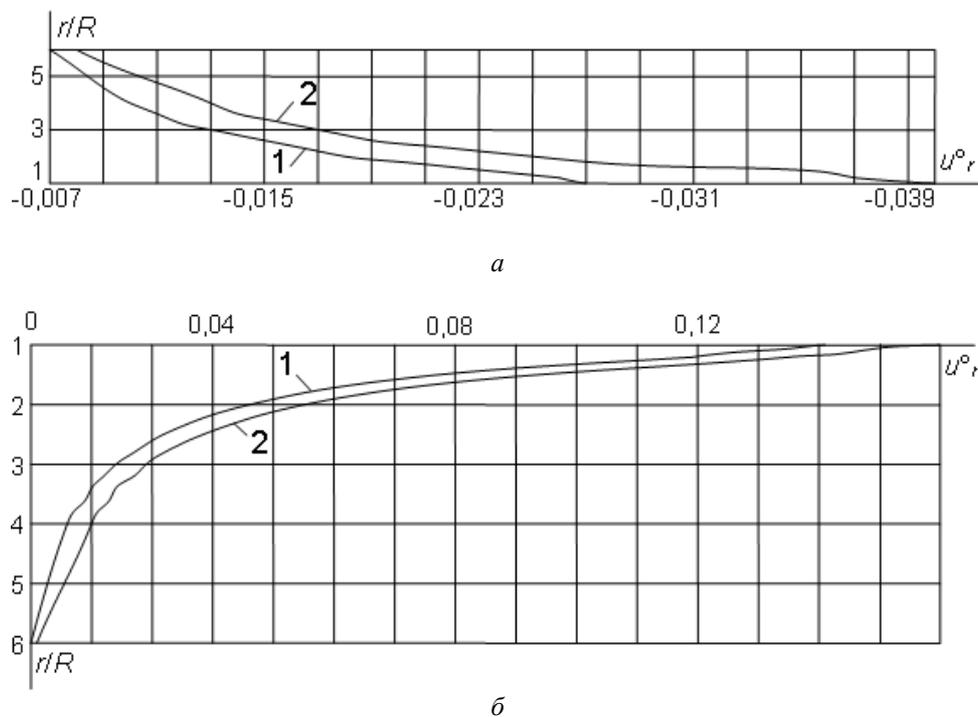


Рис. 2. Изменения радиальных перемещений u_r^0 , м в сечении $\eta = 0$ с удалением от верхней (а) нижней (б) точек внутренней поверхности бетонного слоя обделки

ЛИТЕРАТУРА

1. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А. Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 240 с.
2. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. – М.: Недра, 1989. – 270 с.

REFERENS

1. Erzhanov Zh.S., Aitaliev Sh.M., Alekseyeva L.A. Dynamics of tunnels and underground pipelines. – Alma-Ata: Nauka, 1989. – 240 p.
2. Bulychev N.S. Mekhanika podzemnykh sooruzhenii v primerakh i zadachakh [Mechanics of underground structures in examples and problems], Moscow, Nedra Publ., 1989, 270 p.

Украинец В.Н., Отарбаев Ж.О., Гирнис С.Р.

Көлік жүктесі әрекетімен тоннельдің кернеу-деформациялық түйіне терен орналасқан тоннельдің екі қабатты қаптамасымен массивтің контакт шараларын әрекеті.

Түйіндеме. Серпімді кеңістіктегі екі қабатты қабықшаға жүгірмелі жүктеме әрекеті туралы тапсырманың шешімі негізінде көлік жүктемелері әсер еткенде (ішкітоннельдің жылжымалы көлігінің жүктемесі) тоннельдің кернеу-деформациялық күйіне терең орналасқан болатбетонды тоннель қаптамасы мен массивтің контакт шарларының әсері зерттеленді.

Негізгі сөздер: тоннель, қабатты қабықша, көлік жүктеме, кернеулі-деформациялық күйі.

Украинец В.Н., Отарбаев Ж.О., Гирнис С.Р.

Влияние контактных условий двухслойной обделки тоннеля глубокого заложения с массивом на его напряжённо-деформированное состояние при действии транспортной нагрузки

Резюме. На основе решения задачи о действии бегущей нагрузки на двухслойную оболочку в упругом пространстве исследуется влияние контактных условий сталебетонной обделки тоннеля глубокого заложения с массивом на его напряжённо-деформированное состояние при действии транспортной нагрузки (нагрузки от движущегося внутритоннельного транспорта).

Ключевые слова: тоннель, слоистая оболочка, транспортная нагрузка, напряженно-деформированное состояние.

Украинец В.Н., Отарбаев Ж.О., Гирнис С.Р.

Influence of contact conditions on two-layer shell a tunnel of a deep embedding and a massif on its tense-deformed condition at action of transport loads

On base of task solution on effect of moving load on two-layer shell in elastic space is researched influence of contact conditions steel-concrete shell a deep tunnel and a massif on its tense-deformed condition at action of transport loadings (loadings from moving intra tunnel transport).

Key words: tunnel, layered shell, transport load, tense-deformed condition.

УДК 655.262

^{1,2} Емелхан А.Б., ^{1,2} Ахметова А.Е., ^{1,2} Тягунов А.Г., ^{1,2} Сергеев А.П., ¹ Турлыбаева Б.Ж.

(¹Казахский национальный технический университет имени К.И.Сатпаева,
г.Алматы, Республика Казахстан, aiko___91@mail.ru

² ФГАУ ВПО «Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Россия, Екатеринбург, Мира-32, 620002, E-mail: datarasov@yandex.ru)

ИНВАРИАНТНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ШРИФТА

Аннотация. Для оценки пространственных особенностей шрифтовых рисунков предложено использовать масштабно инвариантный показатель, основанный на идеях фрактальной геометрии. Шрифт рассматривается как связанное геометрическое множество векторных графических объектов и к нему применяется определение нормализованной компактности. Для вычисления периметра и площади векторного объекта использован VBA макрос Curveinfo векторного графического пакета CorelDraw. Был разработан специальный макрос, который автоматизирует процесс разбиения произвольного количества текстовых объектов на набор векторных объектов представляющих из себя абрисы букв и внутрибуквенные просветы. Выборка: 21 шрифт, размеры 12 и 18 пт; из них 9 шрифтов без засечек, 11 шрифтов с засечками и один скриптовый шрифт. Результаты и измерений и расчетов показали масштабную инвариантность нормализованной компактности и возможность использования этого показателя как численной характеристики и основания для классификации шрифтов.

Ключевые слова: текст, шрифт, скорость чтения, показатель, фрактал.

Исследования в области разборчивости и читабельности текстовой информации ведутся на протяжении более ста лет. Они необходимы для разработки текстовых материалов, предназначенных для читателей с формирующимся навыком чтения. Значительное место в них занимают исследования шрифтов. Многие зарубежные и отечественные авторы исследовали разборчивость, различимость, удобство чтения различных шрифтов, влияние засечек, влияние рисунка и пространственных характеристик шрифта на понимание и запоминание содержания текстовых информационных, и некоторые другие факторы. Полученные результаты противоречивы и до сих пор нет единого мнения о том, какие особенности шрифтов и каким образом влияют на процесс чтения. Во многом это связано с отсутствием объективного показателя, описывающего рисунок шрифта и позволяющего сравнивать различные шрифты между собой.

Цель исследования – предложить масштабно инвариантный показатель, численно характеризующий пространственные характеристики шрифта. Он предназначен для количественной оценки разборчивости шрифтов.