

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal
Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2024 Issue: 12 Volume: 140

Published: 12.12.2024 <http://T-Science.org>

Issue

Article



Ismoil Ibragimovich Safarov
Institute of Chemistry and Technology
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor to department
of Advanced Mathematics, Tashkent, Uzbekistan
safarov54@mail.ru

Sharif Ruzievich Akhmedov
Bukhara Institute of Natural Resources Management of the National Research University
Professor, Head of the Department of «GTS and NS»
Bukhara, Republic of Uzbekistan
ahmedovsarifboj652@gmail.com

Nurillo Raximovich Kulmurov
Navoi State Mining and Technological University
docent, Uzbekistan
nurillo.Kulmurov.64@mail.ru

Dildora Bahodirovna Salimova
Bukhara Institute of Natural Resources Management of the National Research University
Doctoral student, Head of the Department of «GTS and NS»
Bukhara, Republic of Uzbekistan

Orzigul Nabieva
Bukhara Institute of Natural Resources Management of the National Research University
Master's student, Head of the Department of «GTS and NS»
Bukhara, Republic of Uzbekistan

NATURAL AND FORCED OSCILLATIONS OF PLATE AND PIPELINE SYSTEMS

Abstract: This article examines the forces acting on the structure and the dynamic characteristics of structures when calculating underground tunnel structures. To calculate underground tunnel structures, a number of countries around the world used the spectral curve method [1,2]. Based on this method, regulatory documents have been developed [3,4,5]. To calculate seismic loads, it is necessary to know the dynamic characteristics of the structure: frequencies and forms of natural oscillations and attenuation parameters.

Key words: Underground structures, theory of spectral curves, seismic load, dynamic characteristics, oscillations.

Language: Russian

Citation: Safarov, I.I., et al. (2024). Natural and forced oscillations of plate and pipeline systems. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (140), 91-95.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-140-17>

Doi:  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2024.12.140.17>

Scopus ASCC: 2200.

СОБСТВЕННЫЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ И ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Аннотация: В данной статье изучены силы, действующие на сооружение, и динамические характеристики сооружений при расчете подземных тоннельных конструкций. Для расчета подземных тоннельных конструкций ряд стран мира применялись метод спектральных кривых [1,2]. На основе этого метода разработана нормативных документов [3,4,5]. Чтобы вычислить сейсмические нагрузки необходимо знать динамические характеристики сооружения: частоты и формы собственных колебаний и параметры затухания.

Ключевые слова: Подземные конструкции, теория спектральных кривых, сейсмическая нагрузка, динамические характеристики, колебания.

Введение

Несмотря на значительное развитие линейное – спектральной теории, применение ее в области подземного сейсмостойкого строительства встречается затруднения принципиального характера, связанные с недостаточной разработанностью методов определения динамических характеристик подземных сооружений, а также с отсутствием достаточно обоснованных спектральных кривых. Кроме того, установлено что для подземных сооружений основным видом сейсмической нагрузки являются не инерционные силы от веса обделки и горного давления, а динамическое изменение сеймонапряженного состояния массива при прохождении волн напряжений. При этом имеют место сложные дифракционные и интерференционные явления, которые в принципе не могут быть учтены линейно – спектральной теорией. Наряду с линейно-спектральной теорией развивается и другая разновидность динамического метода расчета – расчет по аналоговым акселерограммам, который основан на решении дифференциальных уравнений

колебаний конструкций. Воздействие может задаваться в виде инструментальных записей прошлых землетрясений или синтезированных акселерограмм, учитывающих особенности площадки строительства. Однако решение таких уравнений численными методами в значительной степени ограничивается возможностями существующей вычислительной техники. Кроме того, следует иметь ввиду практическое отсутствие инструментальных записей, осуществленных в подземных условиях. В результате специальных исследований установлено, что вследствие особенностей работы подземных сооружений можно принимать коэффициент динамичности меньшим по сравнению с наземными сооружениями и определять по графику, который не дифференцируется в зависимости от свойств грунтов (рис.1). Для туннелей и других подземных сооружений при отсутствии данных о формах колебаний с учетом сравнительно большого затухания колебаний в [6] считается возможным принимать для основного тона $\beta_{\text{тк}} = 1,5$.

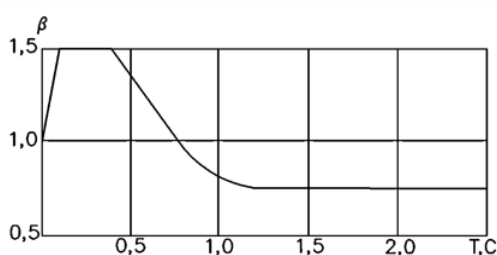


Рис.1. График изменения коэффициента динамичности для подземных сооружений

Анализ пунктов СНиП, относящихся к расчету сейсмостойких подземных сооружений, показывает, что содержащихся в нем материалов недостаточно для полного учета сейсмических нагрузок. Следует также отметить, что вся ГЛАВА СНиП, кроме этих пунктов, использует линейно – спектральную теорию сейсмостойкости и таким образом нарушается единый методический подход. Применительно к подземным сооружениям исследования, связанные с расчетом по акселерограммам, развивалась по двум основным направлениям. В работе рассматриваются собственные и вынужденные колебания деформируемых систем, состоящих из

пластин, оболочек и масс. Исследуется способы получения дифференциальных уравнений. Сначала рассмотрим постановку динамических задач пластина, у которого один из размеров (толщина) много меньше двух других размеров и координатная поверхность которого – плоскость. Динамическое поведение рассмотрим в рамках технической теории изгиба анизотропных пластин (модель Кирхгофа-Лява). Согласно данной модели:

Энергия деформирования пластины определяется следующим образом:

$$U = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (M_x \chi_x + M_y \chi_y + 2M_{xy} \chi_{xy}) dx dy, \quad (1)$$

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.191
ESJI (KZ) = 8.100
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

где Ω - площадь пластины, M_x, M_y - изгибающие моменты, M_{xy} - крутящий момент, $\chi_x, \chi_y, \chi_{xy}$ - обобщенные изгибные деформации (кривизны). Для ортотропной пластины упругие соотношения:

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \chi_x \\ \chi_y \\ \chi_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

где: D_{ij} - изгибные жесткости: $D_{ij} = C_{ij} \frac{h^3}{12}$ - однородная анизотропная пластина;

$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n C_{ij}^{(k)} (z_i^3 - z_{i-1}^3)$ - слоистая пластина. Энергии деформирования выражается следующим образом

$$U = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (D_{11}(\chi_x)^2 + 2D_{12}\chi_x\chi_y + D_{22}(\chi_y)^2 + 2D_{66}(\chi_{xy})^2) dx dy. \quad (3)$$

Прогибы пластин малы, следовательно, кривизны пропорциональны вторым частным производным прогиба по пространственным координатам

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \chi_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \chi_{xy} = \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}; \quad (4)$$

$$U = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \left(D_{11} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2D_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{22} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 2D_{66} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right) dx dy. \quad (5)$$

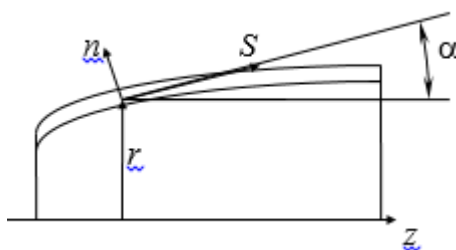


Рис. 2. Координатная система осесимметричной оболочки.

В оболочке действуют изгибающие моменты M_s и M_θ и усилия в срединной поверхности N_s и N_θ .

От действия изгибающих моментов изменяется срединная поверхность, от усилий возникает продольные деформации.

$$U = \frac{1}{2} \int_0^l (N_s \varepsilon_s + N_\theta \varepsilon_\theta + M_s \chi_s + M_\theta \chi_\theta) 2\pi r ds, \quad (7)$$

где l - длина оболочки по меридиану. Упругие соотношения:

$$\begin{Bmatrix} N_s \\ N_\theta \\ M_s \\ M_\theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C'_{11} & C'_{12} & B_{11} & B_{12} \\ C'_{12} & C'_{22} & B_{12} & B_{22} \\ B_{11} & B_{12} & D_{11} & D_{12} \\ B_{12} & B_{22} & D_{12} & D_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_s \\ \varepsilon_\theta \\ \chi_s \\ \chi_\theta \end{Bmatrix}, \quad (8)$$

где для однородной ортотропной оболочки:

Кинетическая энергия (без учета вращений) принимает следующий вид

$$T = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \rho h \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 d\lambda.$$

Потенциал внешних усилий (распределенная нагрузка по поверхности $q(x,y,t)$)

$$\Pi = - \int_{\Omega} q w dx dy.$$

Подставляя полученные выражения в интеграл действия и составляя уравнения Остроградского - Эйлера для функционала, получим

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_* \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q, \quad (6)$$

$$D_* = D_{12} + 2D_{66}.$$

Получили уравнение движения ортотропной пластины при изгибе. Условия на контуре (по два условия).

Теперь рассмотрим ограничимся анализом осесимметричных оболочек; вектор перемещений в этом случае описывается двумя компонентами: u - смещение точек срединной поверхности вдоль образующей S ; w - смещение точек срединной поверхности вдоль нормали n (рис.2).

$$C'_{ij} = C_{ij} h; \quad C_{ij} = \frac{E_{11}}{1 - \nu_{12} \nu_{21}}; \quad B_{ij} = 0; \quad D_{ij} = C_{ij} \frac{h^3}{12};$$

при этом $B_{ij} = 0$, если координатная поверхность является срединной поверхностью. Связь деформаций с перемещениями:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_s \\ \varepsilon_\theta \\ \chi_s \\ \chi_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial s} \\ \frac{w \cos \alpha + u \sin \alpha}{r} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial s^2} \\ -\frac{\sin \alpha}{r} \frac{\partial w}{\partial s} \end{Bmatrix}.$$

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.191
 ESJI (KZ) = 8.100
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

Подставляя геометрические и физические соотношения в выражения для энергии деформирования, получаем:

$$U = U[u(S), w(S)]. \quad (9)$$

Кинетическая энергия:

$$T = \frac{1}{2} \int_0^e \rho h 2\pi \left[\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right] dS.$$

Потенциал высших сил (распределенное давление на поверхность оболочки $q(S, t)$):

$$\Pi = - \int_0^e q(s, t) w 2\pi dS.$$

Подставляя выражения для U , T , Π в функционал и сопоставляя для него систему уравнений Остроградского - Эйлера, получаем уравнения движения тонкой анизотропной оболочки (получается система двух дифференциальных уравнений в частных производных относительно функций $u(S, t)$ и $w(S, t)$).

Граничные и начальные условия формулируются традиционно и приводят к постановке краевой задачи динамики осесимметричной оболочки [7-12]. Так как свободные колебания совершаются по гармоническому закону, то общее решение однородного дифференциального уравнения будем искать в виде:

$$\bar{u}(\bar{r}, t) = \phi(\bar{r}) \sin(\omega t + \phi). \quad (10)$$

Подставляя вид решения (10) в уравнение (6), получим:

$$(C - \omega^2 A) \phi = 0. \quad (11)$$

Заключение. Значения параметра ω^2 , при которых уравнение (11) имеет решение, отличное от $\phi \equiv 0$, называют собственными значениями (ω , в свою очередь, называют собственными частотами). Функции ϕ , соответствующие собственным значениям ω^2 , называются собственными элементами уравнения (11), определяющими собственные формулы колебаний упругой системы. Совокупность собственных частот уравнения (11) называют спектром. Спектр собственных частот обычно упорядочивают в порядке возрастания $\omega_1 \leq \omega_2 \leq \omega_3 \leq K$, причем, ω_1 – первая (низшая) собственная частота. Собственным формам присваивают номера соответствующих частот, например, ϕ_1 – первая форма свободных колебаний механической системы. Собственные формы ϕ_i определяют общее решение уравнения (11) (так называемый полный базис) в виде ряда

$$\phi(\bar{r}) = u_i \phi_i(\bar{r}),$$

где $i = 1, 2, K$, u_i – константы.

References:

1. Zenkevich, O., & Morgan, K. (1986). *Konechnie elementi i approksimatsiya*: Per. s angl. (p.318). Moscow: Mir.
2. Pao, Y.H., & Mov, K.K. (1973). *The diffraction of elastik vaves and dynamik stress konsentrations*. (p.694). -N.Y.: Krane Russak and Ko.
3. Mau, M. (1963). Dinamicheskie napryajeniya i smesheniya vblizi silindricheskoy poverxnosti razriva ot ploskosti razriva ot ploskoy garmonicheskoy volni sdviga. *Prikladnaya mexanika, perevod s ang.*, 1963, t.30, ser.YE, №3, pp.117-126.
4. Rashidov, T.R., Sagdiev, X., Muborakov, YA.N., & Safarov, I.I. (1989). O dvux osnovnix metodax izucheniya seysmonapryajennogo sostoyaniya podzemnix soorujeniy pri deystvii seysmicheskix voln. *DAN UzSSR*, N6, 1989.- pp.13-15.
5. Rashidov, T.R., Kuznetsov, S.V., Mardonov, B.M., & Mirzaev, I. (2019). *Prikladnie zadachi seysmodinamiki soorujeniy*. Kniga1, (p.268). Tashkent: Fan.
6. Avliyakov, N.N., & Safarov, I.I. (2005). Metodi povisheniya seysmostoykosti podzemnix plastmassovix truboprovodov. *Uzbekskiy jurnal nefti i gaza*, 2005, №4. pp.42-44.
7. Kubenko, V.D. (1968). O Rasprostraneni ploskoy garmonicheskoy volni sdviga v plastine s kvadratnim otverstiem, *Prikladnaya mexanika*, 1968, t.4., №2, pp. 129-133.
8. Zaynagabdinov, D. A., & May Dik Min` (2013). Modeli dlya rascheta tonneley, peresekayushix aktivnie razlomi. Institut Gosudarstvennogo upravleniya, prava i innovatsionnix texnologiy (IGUPIT), *Internet-jurnal «NAUKOVEDENIE»*, 2013, N3 (16).
9. Deev, P.V., & Petruxin, M.A. (2018). Seysmicheskiy raschet tonneley melkogo zalojeniya. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle*. 2018. Vip. 3. pp. 212-221.
10. Mesgouez, A., Buis, S., Lefeuvre-Mesgouez, G., & Mikolau, G. (2017). Use of global sensitivity analysis to assess the soil poroelastik parameter influence. *Vave Motion* 2017; 72:377-94.
11. Axmedov, S. R., Kulmuratov, N. R., Safarov, U. I., Choriev, M., & Hamraev, N. N. (2021). Vibrations of deformable cylindrical shells with a viscoelastic filler. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 09 (101), 178-186. Soi: <http://s-o->

Impact Factor:	ISRA (India)	= 6.317	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
	ISI (Dubai, UAE)	= 1.582	ПИИИ (Russia)	= 0.191	PIF (India)	= 1.940
	GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.100	IBI (India)	= 4.260
	JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 7.184	OAJI (USA)	= 0.350

- [i.org/1.1/TAS-09-101-11](https://doi.org/10.15863/TAS) Doi: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0091544.9>
<https://dx.doi.org/10.15863/TAS>
12. Ishmamatov, M.R., Kulmurotov, N.R., Safarov, U.I., Khalilov, Sh.F., & Akhmedov, N.B. (2022). Vibrations of Burned Pipes Insulated with Soft Soil under Exposure to Seismic Loads. *AIP Conference Proceedings* 16.06.2022y. 030123/1-030123/6 p. (№2- Journal Impact Factor; IF=0,402) pp.1-6. Scopus.
 13. Ishmamatov, M., Kulmurotov, N.R., Kuldashov, N., Choriev, M., & Axmedov, N. (2023). Fluctuations of the ground surface at blasting operations on tunnel structures. *E3S Web of Conferences* 417, 06003(2023) GEOTECH2023 Publish. pp.1-12. Scopus. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341706004>