

УДК 539.3; 624.073.4

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ТРИШАРОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ЕЛІПТИЧНОЇ ФОРМИ ПРИ ВНУТРІШНЬОМУ ОСЕСИМЕТРИЧНОМУ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

**В.В. Гайдайчук,**

д-р техн. наук

**К.Е. Котенко,**

канд. техн. наук

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680*

DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.263-272

Наведені результати оцінки динамічної поведінки тришарових циліндричних оболонок кругової і еліптичних форм перетину при внутрішньому імпульсному навантаженні. Використано скінченно – елементний метод для розрахунку показників напружено-деформованого стану (НДС) таких структур програмним комплексом NASTRAN. Визначені величини прогинів  $U_3$ , напружень  $\sigma_{22}$  кругової і 3-х еліптичних форм перетину циліндричних структур. Виконано порівняльний аналіз величин цих показників з результатами динамічної поведінки неологич циліндричних оболонок.

**Ключові слова:** тришарова циліндрична оболонка, кругова і еліптична форми перетину, скінченно-елементна модель, динамічна поведінка, імпульсне осесиметричне навантаження, метод скінченних елементів.

**Вступ. Постановка задачі.** В зв'язку з відсутністю універсальної нормативної бази для проектування шарових оболонок і розширенням специфіки їх конструкційних рішень та збільшенням об'ємів використання значно зросла актуальність проблеми безпеки і надійності таких структур. Про це свідчать матеріали вітчизняних і зарубіжних досліджень, а також досвід експлуатації таких структур. Канонічні шарові структури (циліндричні, конічні і сферичні) доповнюються комбінованими їх формами, розширенням варіантів форми їх поперечного перерину та ін.

В зв'язку з цим актуальною, стала розробка і оптимізація циліндричних композитних оболонок еліптичної форми перетину. В цьому відношенні важливе значення може мати визначення і врахування впливу динамічного фактора на напружено-деформований стан таких структур [1, 2]. Вивчення основних аспектів цієї проблеми і пошук оптимальних варіантів її вирішення являється метою наступних досліджень. Їх завдання включає визначення методу і засобів оцінки впливу форми і розмірів поперечного перетину циліндричних тришарових оболонок на їх напружено-деформований стан при дії динамічного імпульсного навантаження.

Одним із методів вирішення цієї проблеми є створення і розрахунки рівнянь динамічних коливань таких структур на основі співвідношень уточненої теорії непологих оболонок типу Тимошенка [3, 10] і використання скінченно-різницевої схем їх розрахунку по просторовій і часовій координатах. Їх прикладом є рівняння коливань оболонок еліптичного перетину для визначення їх прогинів [4]

$$\begin{aligned} \frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 T_{11}) + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 S) &= \rho h \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2}, \\ \frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 S) + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 T_{22}) + k_2 T_{23} &= \rho h \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2}, \\ \frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 T_{13}) + P_3 + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 T_{23}) - k_2 T_{22} &= \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2}, \\ \frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 M_{11}) - T_{13} + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 H) &= \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2}, \\ \frac{1}{A_2} \frac{\partial}{\partial s_1} (A_2 H) + \frac{1}{A_1} \frac{\partial}{\partial s_2} (A_1 M_{22}) - T_{23} &= \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

При шаровій конструкції оболонок, особливо при малих товщинах їх робочих шарів і неармованому легкому заповнювачеві, доцільним представляється використання скінченно - елементного методу, передбачаючого моделювання і виконання розрахунку НДС досліджуваних структур програмно - розрахунковими комплексами.

Базуючись на використанні потенційної енергії, цей метод розповсюджується практично на необмежений клас задач і являється досить ефективним і оперативним. В загальній постановці він передбачає визначення області і вектора переміщень пружної системи характеризує мінімізацією її потенційної енергії, а після її визначення – розраховуються тензори переміщень і напружень [5]. І якщо повна потенційна енергія системи має вид:

$$\Pi = E - W, \quad (2)$$

де  $E$  – потенційна енергія деформацій, а  $W$  – потенційна енергія зовнішніх навантажень, то після розбивки цільної області на окремі елементи (2) змінюється відповідно:

$$\Pi = \sum_{e=1}^E (E^{(e)} - W^{(e)}) = \sum_{e=1}^E \pi^{(e)} \quad (3)$$

і її мінімізація, в результаті впливів силових, теплових або інших факторів забезпечує вирішення задачі.

Використання цього методу в наступних дослідженнях передбачає визначення величин нормальних прогинів  $U_3$ , нормальних напружень  $\sigma_{22}$  несучих шарів тришарових циліндричних оболонок кругового і еліптичного перерізу (рис. 1) при внутрішньому розподіленому імпульсному навантаженні  $P_3(s_1, s_2, t)$ .

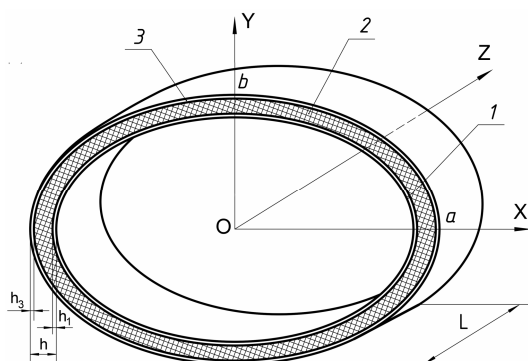


Рис. 1. Конструкція тришарової циліндричної оболонкової структури: 1 – внутрішній шар; 2 – заповнювач; 3 – зовнішній шар

Розподіл імпульсного навантаження здійснювався в наступному вигляді:

$$P_3(s_1, s_2, t) = A * \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)], \quad (4)$$

де:  $A$  – амплітуда імпульсного навантаження;  $T$  – тривалість часу навантаження;  $t$  – часовий інтервал. Приймалися наступні параметри:  $A = 10^6$  Па;  $T = 50 * 10^{-6}$  с.

Покладалося, що краї оболонки жорстко затиснені, тобто при  $S_1 = 0$  і  $S_1 = L$ :  $U_1 = U_2 = U_3 = \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 0$ .

Конструкція досліджуваних оболонок приведена на рис. 1.

Загальна товщина досліджуваних композитних оболонок складала  $h=10$  мм. Геометричні розміри елементів конструкцій наведені в табл. 1.

Модулі пружності матеріалів шарів та заповнювача становили  $E_1 = E_3 = 70$  ГПа,  $E_2 = 0,14$  ГПа, а інші показники мали такі значення  $\mu_1 = \mu_3 = 0,3$ ,  $\rho_1 = \rho_3 = 2,7 * 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_2 = 25$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 1

Співвідношення геометричних розмірів елементів конструкції тришарових оболонок

$h_1, \text{м}$	$h_2, \text{м}$	$h_3, \text{м}$	$h_1/R$	$L/h_1$	$a/b$
$1 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-3}$	$8 * 10^{-3}$	0,01	400	1
$1 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-3}$	$8 * 10^{-3}$	-	400	1,01
$1 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-3}$	$8 * 10^{-3}$	-	400	1,05
$1 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-3}$	$8 * 10^{-3}$	-	400	1, 1

При створенні скінченно - елементних моделей використовувався тривимірний об'ємний скінченний елемент типу *Solid*, гарантуючий точність отриманих результатів, який по ступеню витягнутості,

звуженню і викривленню, та іншим показникам відповідав вимогам забезпечення якості скінченно - елементної сітки [6].

Створена скінченно-елементна модель кругового перетину налічувала 96000 скінченних елементів і 113120 вузлів, а в моделях еліптичного перетину (рис. 2) кількість скінченних елементів становила 120000, а кількість вузлів дорівнювала 141400.

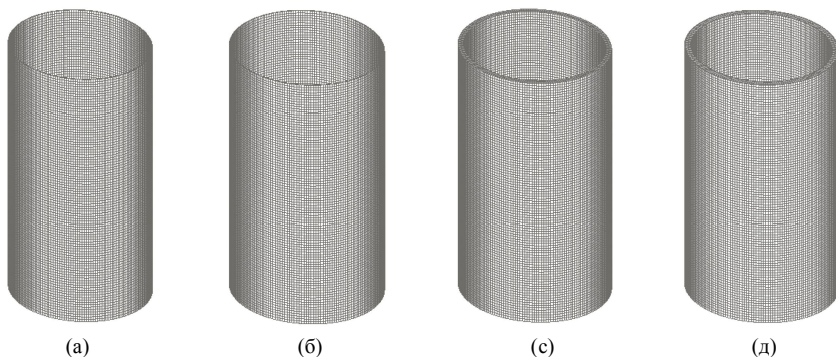


Рис. 2. Скінченно-елементна модель тришарової циліндричної оболонки еліптичного перетину: (а) – обшивка несуча внутрішня; (б) – теж саме зовнішня; (с) – полімерний заповнювач; (д) – тришарова оболонка

Розрахунки величин нормальних прогинів і нормальних напружень серединної поверхні структур здійснювались в області  $D = \{0 \leq S_1 \leq S_2 \leq A * \pi/2\}$  і виконувались у розрахунковому омплексі Nastran алгоритмом прямого перехідного динамічного процесу.

Динамічна поведінка показників НДС цих структур досліджувалась в часовому інтервалі  $0 \leq t \leq 10T$ .

**Отримані результати.** Результати розрахунку максимальних величин прогинів  $U_3$  серединних поверхонь робочих шарів оболонок та їх залежність від просторової координати  $X$  в перерізах  $S_1$  та  $S_2$  наведені на рис. 3 і рис. 4.

На рис. 3(а) в перерізі  $S_1$  і на рис. 4(а) в перерізі  $S_2$  - криві з індексами 1,2,3 та 4 відображають розподіл величин нормальних прогинів внутрішнього шару оболонок еліптичного поперечного перетину співвідношенням півосей: 1)  $a/b = 1$ ; 2)  $a/b = 1,01$ ; 3)  $a/b = 1,05$ ; 4)  $a/b = 1,1$ , а на рис. 3(б) та 4(б) – теж саме відповідно величини зовнішнього шару.

Як видно з рисунків максимальні величини  $U_3$  значно залежать від співвідношення півосей еліптичного перетину циліндричної структури і досягають максимальних значень при  $a/b = 1,1$ . При такому співвідношенні величина максимального прогину внутрішнього шару в перерізі  $S_1$  в момент часу  $t = 8,65T$  перевищує аналогічну величину зовнішнього шару на 4,4% і на 12,7% - в перерізі  $S_2$  в момент  $t = 9,85T$ .

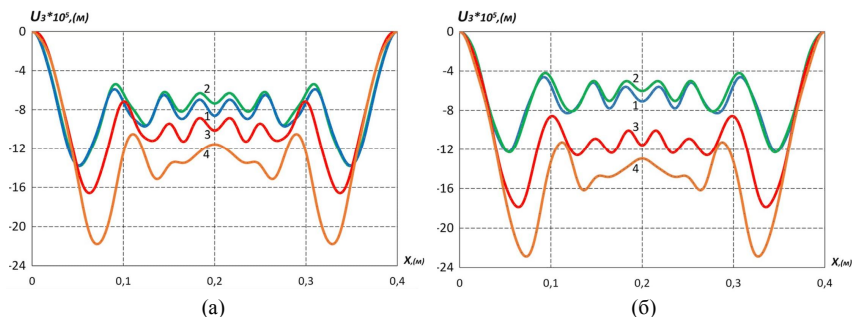


Рис. 3. Нормальні прогини робочих шарів циліндричних оболонок еліптичного перетину в перерізі  $S_1$ : (а) – внутрішній шар; (б) – зовнішній шар

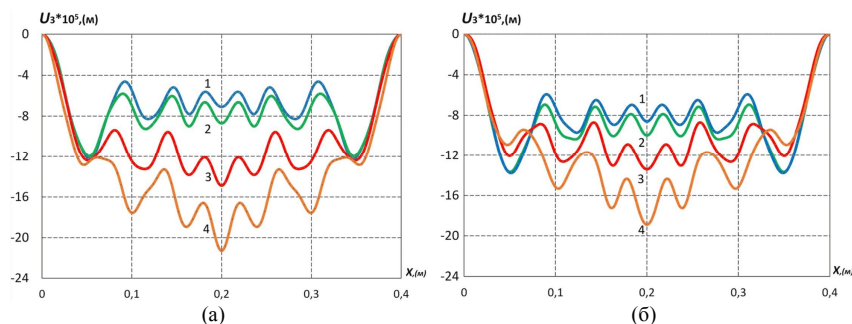


Рис. 4. Нормальні прогини робочих шарів циліндричних оболонок еліптичного перетину в перерізі  $S_2$ : (а) – внутрішній шар; (б) – зовнішній шар

Розглядаючи максимальні прогини внутрішнього шару оболонок (рис. 3(а)) спостерігається, що при збільшенні співвідношення півосей до 1,05 і 1,1 виявляється, що максимальна величина прогину зростає відповідно на 45,4 і 84,6%, а при розгляді максимальних прогинів зовнішнього шару (рис. 3(б)) і тому самому співвідношенні півосей - на 19,3 і 57,6%.

При аналогічному співвідношенні  $a/b$  величини прогинів  $U_3$  в перерізі  $S_2$  збільшуються менш значимо і досягають величин у внутрішньому шарі 20,3 і 71,9% (рис. 4(а)). Їх максимальні значення мають місце при  $a/b=1,1$  і спостерігаються при  $X=0,5L$ .

На рис. 5 наведені величини нормальних напружень  $\sigma_{22}$  в перерізі  $S_1$ , а значення і розподіл нормальних напружень при  $S_2$  – відповідно на рис. 6.

На рис. 5(а) в перерізі  $S_1$  і на рис. 6а в перерізі  $S_2$  - криві з індексами 1,2,3 та 4 відображають величини нормальних напружень внутрішнього шару оболонок еліптичного поперечного перетину співвідношенням півосей: 1)  $a/b=1$ ; 2)  $a/b=1,01$ ; 3)  $a/b=1,05$ ; 4)  $a/b=1,1$ , а на рис. 5(б) та 6(б) – теж саме відповідно величини нормальних напружень зовнішнього шару.

В структурі кругового перетину ( $a/b=1$ ) і при різних співвідношеннях  $a/b$  (1,05; 1,1) величини нормальних напружень суттєво відрізняються. Причому різними їх величини є і в обох шарах структур. В круговій формі перетину максимальна величина нормального напруження внутрішнього шару становить  $9,46 \cdot 10^6$  Па, а в зовнішньому шарі дорівнює  $9,72 \cdot 10^6$  Па.

При еліптичній формі перетину в перерізі  $S_1$  величина максимального напруження зростає по мірі збільшення співвідношення  $a/b$  і досягає максимуму у внутрішньому шарі в момент 8,65Т при  $a/b=1,1$ . В цьому випадку максимальна величина напруження внутрішнього шару на 8,7% перевищує аналогічну величину зовнішнього шару (рис. 6). Зміна величини співвідношення  $a/b$  до 1,05; 1,1 супроводиться зростанням максимального напруження як у внутрішньому шарі (19,6; 25,9%) так і у зовнішньому шарі оболонки (0,8; 11,3% ).

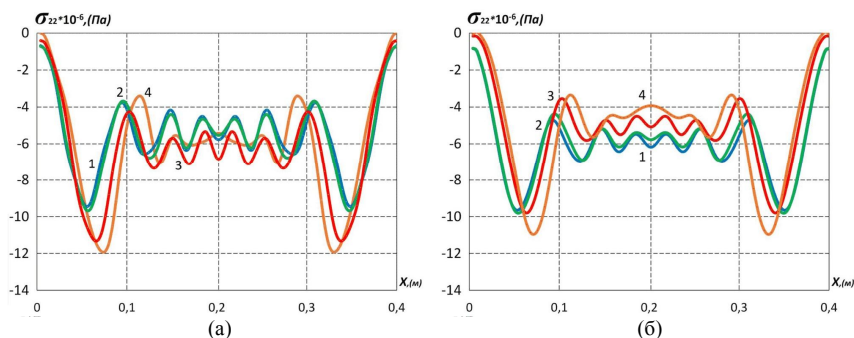


Рис. 5. Нормальні напруження робочих шарів циліндричних оболонок еліптичного перетину в перерізі  $S_1$ : (а) – внутрішній шар; (б) – теж саме зовнішній

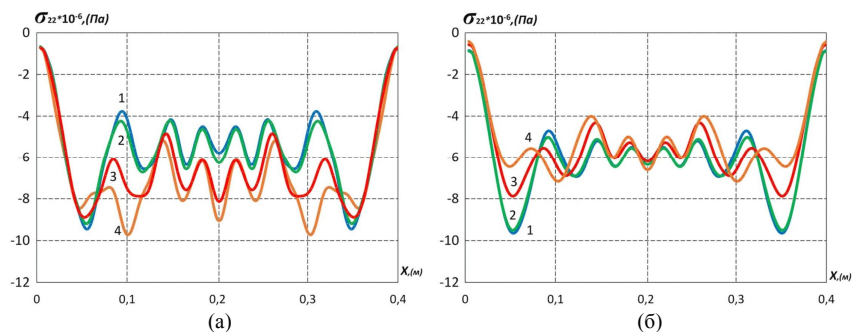


Рис. 6. Нормальні напруження робочих шарів циліндричних оболонок еліптичного перетину в перерізі  $S_2$ : (а) – внутрішній шар; (б) – теж саме зовнішній

Таким чином можна констатувати, що форма і розміри перетину тришарових циліндричних оболонок впливають на їх напружено – деформований стан при динамічному імпульсному навантаженні. При

зміні кругової форми еліптичною і збільшенні співвідношення півосей еліпса на 10% величина максимального прогину  $U_3$  структури збільшується майже на 85%, а максимальна величина нормального напруження зростає на 26%.

Практично аналогічним виявився характер величин і розподіл нормальних прогинів в перерізі  $S_1$  непологих циліндричних структур наведених в роботі [4]. Збільшення співвідношення  $a/b$  в них супроводжувалось збільшенням величин прогинів.

Аналогією подібного впливу імпульсного навантаження на НДС шарових композитних структур підтвержують і результати досліджень в інших публікаціях [7-9].

**Висновки.** Форма і кривизна поперечного перетину тришарових циліндричних тонкостінних композитних оболонок значно впливають на їх НДС при динамічному імпульсному навантаженні.

Заміна кругової форми поперечного перетину циліндричної структури еліптичною і зростання співвідношення півосей еліптичного перетину приводить до збільшення нормальних прогинів і нормального напруження серединної поверхні структури.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Lugovoi P.Z., Meish V.F.* Dynamics of inhomogeneous shell systems under non-stationary loading (survey) // International Applied Mechanics – 2017, 53, № 5 – P. 481–537.
2. *Meish V.F., Shtantsel' S.É.* Dynamic problems in the theory of sandwich shells of revolution with a discrete core under nonstationary loads // International Applied Mechanics – 2002, 38, № 12 – P. 1501–1507.
3. *Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S.* Theory of Plates and Shells. Second Edition. New York etc.: McGraw-Hill Book Company INC, 1959. 636 p.
4. *Мейш В.Ф., Мейш Ю.А.* Динамічна поведінка циліндричних оболонок некругового перерізу при нестационарних навантаженнях. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2021. № 5. с. 33–38.
5. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. - 392 с.
6. *Рычков С.П.* Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 784 с.
7. *Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E.* Stress - strain state of a three-layer cylindrical shell under internal axisymmetric pulse load c Strength of Materials and Theory of Structures. – 2020. – Issue. 105. – P. – 145-151.
8. *Луговой П.З., Гайдайчук В.В., Орленко С.П., Котенко К.Е.* Динаміка тришарових конічних оболонок з дискретно неоднорідним заповнювачем при нестационарних навантаженнях // Прикладна механіка– 2022, 58, № 4 – С.
9. *Lugovoi P.Z., Gaidaichuk V.V., Skosarenko Yu.V., Kotenko K.E.* Stress–Strain State of Three-Layer Cylindrical Shells with Reinforced Light Core Under Nonstationary Loading "International Applied Mechanics", 2021, 57(4), P. 395–404.
10. *Новожилов В.В.* Теория тонких оболочек Л.: Госиздат Судостроительной литературы, 1951. - 344 с.

#### REFERENCES

1. *Lugovoi P.Z., Meish V.F.* Dynamics of inhomogeneous shell systems under non-stationary loading (survey) // International Applied Mechanics – 2017, 53, № 5 – P. 481–537.

2. *Meish V.F., Shtantsel' S.É.* Dynamic problems in the theory of sandwich shells of revolution with a discrete core under nonstationary loads // *International Applied Mechanics* – 2002, 38, № 12 – P. 1501–1507.
3. *Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S.* Theory of Plates and Shells. Second Edition. New York etc.: McGraw-Hill Book Company INC, 1959. 636 p.
4. *Meish V.F., Meish Y.A.* Dynamic behavior of cylindrical shells of non-circular cross-section under non-stationary loads. - *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.* 2021. № 5 p. 33—38.
5. *Seegerlind Larry J.* Primenenie metoda konechnykh elementov (Application of the finite element method). - M.: Mir, 1979- 392 p.
6. *Rychkov S.P.* Modelirovanie konstruksiy v sredeFemap with NX Nastran (Structural modeling in Femap with NX Nastran). - M.: DMK Press, 2016.-784 p.
7. *Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E.* Stress - strain state of a three-layer cylindrical shell under internal axisymmetric pulse load // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2020. – Issue. 105. – P. – 145-151.
8. *Lugovoi P.Z., Gaidaichuk V.V., Orlenko S.P., Kotenko K.E.* Dynamika trysharovykh konichnykh obolonok z dyskretno neodnorodnym zapovniuvachem pry nestatsionarnykh navantazhenniakh (Dynamics of three-layer conical shells with discretely inhomogeneous aggregate under nonstationary loads) // *International Applied Mechanics* – 2022, 58, № 4 – P.
9. *Lugovoi P.Z., Gaidaichuk V.V., Skosarenko Yu.V., Kotenko K.E.* Stress–Strain State of Three-Layer Cylindrical Shells with Reinforced Light Core Under Nonstationary Loading "International Applied Mechanics", 2021, 57(4), P. 395–404.
10. *Novozhilov, V.V.* Teoriya tonkih obolochek (Theory of thin shells). – L.: Gosizdat Sudostroitel'noy literatury, 1951. – 344 p. (in Russian).

*Стаття надійшла 31.08.2022*

*Гайдайчук В.В., Котенко К.Е.*

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ТРИШАРОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ЕЛІПТИЧНОЇ ФОРМИ ПРИ ВНУТРІШНЬОМУ ОСЕСИМЕТРИЧНОМУ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

Наведені результати оцінки динамічної поведінки тришарових циліндричних оболонок кругової і еліптичних форм перетину при внутрішньому імпульсному навантаженні. Використано скінченно – елементний метод для розрахунку показників напружено-деформованого стану (НДС) таких структур програмним комплексом *NASTRAN*. Визначені величини прогинів, напружень кругової і 3-х еліптичних форм поперечного перетину циліндричних структур. Виконано порівняльний аналіз величин цих показників з результатами динамічної поведінки неологічних циліндричних оболонок.

**Ключові слова:** тришарова циліндрична оболонка, кругова і еліптична форми перетину, скінченно-елементна модель, динамічна поведінка, імпульсне осесиметричне навантаження, метод скінчених елементів.

*Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E.*

#### **INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF THREE-LAYER CYLINDRICAL SHELLS OF ELLIPTICAL FORM UNDER INTERNAL AXISYMMETRIC PULSE LOADING**

The results of the assessment of the dynamic behavior of three-layer cylindrical shells of circular and elliptical cross-sections under internal impulse loading are given. The finite-element method was used to calculate the indicators of the stress-strain state (SSS) of such structures by the *NASTRAN* software complex. The values normal deflections and normal stresses of circular and three elliptical forms of intersection of cylindrical structures are determined. A comparative analysis of the values of these indicators with the results of the dynamic behavior of uneven cylindrical shells was performed.

The shape and curvature of the cross section of three-layer cylindrical thin-walled composite shells significantly affect their SSS under dynamic impulse loading.



Replacing the circular shape of the cross section of a cylindrical structure with an elliptical one and increasing the ratio of the semiaxes of the elliptical section leads to an increase in normal deflections and normal stresses of the middle surface of the structure.

**Key words:** three-layered cylindrical shell, circular and elliptical shape of the cross-sections, finite element model, dynamic behavior, axisymmetric impulse load, finite element method.

УДК 539.3

*Гайдайчук В.В., Котенко К.Е. Дослідження динамічної поведінки тришарових циліндричних оболонок еліптичної форми при внутрішньому осесиметричному імпульсному навантаженні // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 109. – С. 263-272.*

*Наведені результати оцінки динамічної поведінки тришарових циліндричних оболонок кругової і еліптичних форм перетину при внутрішньому імпульсному навантаженні. Використано скінченно-елементний метод для розрахунку показників напружено-деформованого стану таких структур програмним комплексом NASTRAN. Визначені величини прогинів, напружень кругової і 3-х еліптичних форм поперечного перетину циліндричних структур. Виконано порівняльний аналіз величин цих показників з результатами динамічної поведінки непологих циліндричних оболонок.*

Табл. 1. Іл. 6. Бібліогр. 10 назв.

UDC 539.3

*Gaidaiichuk V.V., Kotenko K.E. Investigation of the dynamic behavior of three-layer cylindrical shells of elliptical form under internal axisymmetric pulse loading // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific and technical collected articles. – K.: KNUBA, 2022. – Issue 109. – P. 263-272.*

*The results of the assessment of the dynamic behavior of three-layer cylindrical shells of circular and elliptical cross-sections under internal impulse loading are given. The finite-element method was used to calculate the indicators of the stress-strain state of such structures by the NASTRAN software complex. The values normal deflections and normal stresses of circular and 3 elliptical forms of intersection of cylindrical structures are determined. A comparative analysis of the values of these indicators with the results of the dynamic behavior of uneven cylindrical shells was performed.*

Tabl. 1. Fig. 6. Ref 10 names.

УДК 539.3

*Гайдайчук В.В., Котенко К.Е. Исследование динамического поведения трехслойных цилиндрических оболочек эллиптической формы при внутренней осесимметричной импульсной нагрузке // Сопротивление материалов и теория сооружений. – 2022. – Вып. 109. – С. 263-272.*

*Приведены результаты оценки динамического поведения трехслойных цилиндрических оболочек круговой и эллиптических форм поперечного сечения при внутренней импульсной нагрузке. Использован конечно-элементный метод для расчета показателей напряженно-деформированного состояния таких структур программным комплексом NASTRAN. Определены величины прогибов, нормальных напряжений круговой и 3-х эллиптических форм сечения цилиндрических структур. Проведен сравнительный анализ величин этих показателей с результатами динамического поведения непологих цилиндрических оболочек.*

Табл. 1. Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури ГАЙДАЙЧУК Віктор Васильович

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31, к. 433, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теоретичної механіки, ГАЙДАЙЧУКУ Віктору Васильовичу

**Роб. тел.** +380 (44) 241-55-72

**Моб. тел.** +380 (97) 542-94-27

**E-mail:** viktor\_gaydaychuk@bigmir.net

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0003-2059-7433>

**Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):** кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури КОТЕНКО Костянтин Едуардович

**Адреса робоча:** 03680 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31, к. 433, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теоретичної механіки, КОТЕНКУ Костянтину Едуардовичу

**Роб. тел.** +380 (44) 241-55-72

**Моб. тел.** +380 (95) 585-20-76

**E-mail:** 1969box@mail.ru

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0002-3181-3819>