УДК 539.3 https://doi.org/10.15407/itm2022.01.087

К. В. АВРАМОВ[1,2], Б. В. УСПЕНСЬКИЙ[1]

АВТОКОЛИВАННЯ ТРИШАРОВОЇ УСІЧЕНОЇ КОНІЧНОЇ ОБОЛОНКИ ІЗ СТІЛЬНИКОВИМ ЗАПОВНЮВАЧЕМ, ВИГОТОВЛЕНИМ АДИТИВНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

[1] *Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України, вул. Пожарського, 2/10, 61046, Харків, Україна; e-mail; admi@ipmach.kharkov.ua*
[2]*Харківський національний університет радіоелектроніки пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна; info@nure.ua*

Отримано нелінійну математичну модель автоколивань тришарових конічних оболонок із стільниковим заповнювачем, виготовленим за допомогою адитивних технологій. Коливання конструкції описуються п'ятнадцятьма невідомими. Кожен шар конструкції описується п'ятьма невідомими: трьома проєкціями переміщень серединної поверхні шару та двома кутами повороту нормалі серединної поверхні шару. Використовуються додаткові умови, що виражають безперервність переміщень під час переходу від одного шару до іншого. Для опису деформаційного стану конструкції використовується теорія зсуву високого порядку. Розглядається випадок взаємодії тришарової конічної оболонки з надзвуковим газовим потоком. Внаслідок цієї взаємодії в оболонковій конструкції виникають автоколивання. Для аналізу таких автоколивань враховується геометрично нелінійне деформування конструкції. Для отримання рівнянь руху конструкції застосовується метод заданих форм, який використовує кінетичну та потенційну енергію конструкції. Автоколивання представляються як розкладання за формами власних коливань. Ці розкладання містять набір узагальнених координат. Отримано систему нелінійних автономних звичайних диференціальних рівнянь щодо вектора узагальнених координат. Для дослідження автоколивань використовується поєднання методу пристрілювання та алгоритму продовження розв'язків за параметром. Для дослідження стійкості періодичних коливань та їх біфуркацій розраховуються мультиплікатори. За допомогою числового моделювання досліджуються характеристики динамічної нестійкості тривіального стану рівноваги конструкції. Докладно досліджено властивості періодичних, квазіперіодичних та хаотичних автоколивань конструкцій, які защемлені з двох сторін, та консольних.

Ключові слова: *нелінійна динамічна система, тришарова конічна оболонка, автоколивання, квазіперіодичні коливання, хаос.*

1. *Karimiasl M., Ebrahimi F.* Large amplitude vibration of viscoelastically damped multiscale composite doubly curved sandwich shell with flexible core and MR layers. Thin-Walled Structures. 2019. V.144. 106128. https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.04.020
2. *Karimiasla M., Ebrahimia F., Maheshb V.* Nonlinear forced vibration of smart multiscale sandwich composite doubly curved porous shell. Thin-Walled Structures. 2019. V.143. 106152. https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.04.044
3. *Cong P. H., Khanh N. D., Khoa N. D., Duc N. D.* New approach to investigate nonlinear dynamic response of sandwich auxetic double curves shallow shells using TSDT. Composite Structures. 2018. V185. P. 455–465. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.047
4. *Yadav A., Amabili M., Panda S. K., Dey T., Kumar R.* Forced nonlinear vibrations of circular cylindrical sandwich shells with cellular core using higher-order shear and thickness deformation theory. Journal of Sound and Vibration. 2021. V. 510. 116283. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2021.116283
5. *Van Quyen N., Thanh N. V., Quan T. Q., Duc N. D.* Nonlinear forced vibration of sandwich cylindrical panel with negative Poisson's ratio auxetic honeycombs core and CNTRC face sheets. Thin-Walled Structures. 2021. V. 162. 107571. https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107571
6. Zhang Y., Li Y. Nonlinear dynamic analysis of a double curvature honeycomb sandwich shell with simply supported boundaries by the homotopy analysis method. Composite Structures. 2019. V. 221. 110884. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.04.056
7. *Naidu N. V. S., Sinha P. K.* Nonlinear free vibration analysis of laminated composite shells in hygrothermal environments. Composite Structures. 2007. 77. P. 475–483. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.08.002
8. *Li C., Shen H.-S., Wang H., Yu Z.* Large amplitude vibration of sandwich plates with functionally graded auxetic 3D lattice core. International Journal of Mechanical Sciences. 2020. V. 174. 105472. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105472
9. *Гудрамович В. С., Деменков А. Ф.* Упругопластические конструкции с несовершенствами формы и остаточными напряжениями. К.: Наук. думка, 1991. 176 с.
10. *Гудрамович В. С., Скальський В. Р., Селіванов Ю. М.* Голографічне та акустико-емісійне діагностування неоднорідних конструкцій і матеріалів. Львів: Простір-М, 2017. 492 с.
11. *Гудрамович В. С.* Міцність, надійність і ресурс конструкцій ракетно-космічної техніки і енергетики. Технічна механіка. 2021. № 2. С. 100–106. https://doi.org/10.15407/itm2021.02.100
12. *Catapano A., Montemurro M.* A multi-scale approach for the optimum design of sandwich plates with honeycomb core. Part I: homogenisation of core properties. Comp. Struct. 2014. V. 118. P. 664–676. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.07.057

13. *Grediac M.* A finite element study of the transverse shear in honeycomb cores. Int. J. of Solids and Struc. 1993. V. 30. P. 1777–1788. https://doi.org/10.1016/0020-7683(93)90233-W
14. *Новожилов В. В.* Основы нелинейной теории упругости. М.: ОГИЗ, 1948. 211 с.
15. *Bakhtiari M., Lakis A. A., Kerboua Y.* Nonlinear supersonic flutter of truncated conical shells. Journal of Mechanical Science and Technology. 2020. V. 34 (4). P. 1375–1388. https://doi.org/10.1007/s12206-020-0301-6
16. *Meirovitch L.* Fundamentals of Vibrations. Mc Graw Hill. 2001. 826 p.
17. *Amabili M.* Nonlinear Mechanics of Shells and Plates in Composite, Soft and Biological Materials: Cambridge University Press; 2018. https://doi.org/10.1017/9781316422892
18. *Аврамов К. В., Михлин Ю. В.* Нелинейная динамика упругих систем. т. 1. Модели, методы, явления, М.: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2010. 704 с.
19. *Деревянко І. І., Аврамов К. В., Успенський Б. В., Саленко О. Ф.* Експериментальний аналіз механічних характеристик деталей ракет-носіїв, виготовлених за допомогою FDM адитивних технологій. Технічна механіка. 2021. №1. С. 92–100. https://doi.org/10.15407/itm2021.01.092

Отримано 26.01.2022,
в остаточному варіанті 21.06.2022