

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ФУНКЦІОНАЛЬНО ГРАДУЙОВАНИХ ТРИШАРОВИХ ПАНЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОШАРОВОЇ МОДЕЛІ

Бурласько В.М., Дімітрова С.Д.  
*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
м. Харків*

Одним з потенційних застосувань функціонально градуйованих матеріалів (FGM) є тришарові (сендвіч) панелі [1]. Використання шару FGM усуває концентрацію напружень та запобігає розшаруванню у тришарових конфігураціях панелей при статичних або динамічних навантаженнях [2]. Аналіз вільних коливань FGM сендвіч-панелей є важливим для оцінки їх характеристик як основних компонентів конструкцій.

В роботі розглянуто питання аналізу вільних коливань FGM сендвіч-панелей. Запропоновано скінченно елементну модель на основі елементів континуальної оболонки, які є доступними в програмному пакеті ABAQUS [3]. Підпрограма користувача UMAT для програмування властивостей матеріалу була використана для реалізації функціонально градуйованої залежності матеріальних сталей в скінченному елементі. Виконано застосування розробленої моделі для аналізу вільних коливань сендвіч-панелей з різними комбінаціями функціонально градуйованих матеріалів для середнього та/або зовнішніх шарів. Закони розподілу властивостей матеріалів крізь товщину панелей задовольняли рівнянням степеневі (P-FGM) або сигмоподібної (S-FGM) або експоненціальної (E-FGM) функцій. Наведено чисельні дослідження вільних коливань сендвіч-панелей, що піддавалися різним граничним умовам та відповідали різним структурним параметрам, таким як відношення довжини проліту панелі до її товщини, відношення товщин зовнішніх шарів панелі до її середнього шару, а також показнику об'ємної частки матеріалу. Дослідження показали дуже хорошу узгодженість між отриманими результатами та наявними в літературі, що підтвердило точність розробленої моделі. Серія числових рішень, отриманих під час дослідження, розширює межі прикладів, що застосовуються для тестування подібних задач і складає додаткову базу даних для інших дослідників.

### Література:

[1] Altenbach H., Eremeyev V. Thin-walled structural elements: classification, classical and advanced theories, new applications// Altenbach H., Eremeyev V. (eds.) Shell-Like Structures. CISMInternational Centre for Mechanical Sciences. Cham: Springer, 2017. Vol.572.PP. 1–62.

[2] Burlayenko V.N., Sadowski T., Altenbach H., Dimitrova S. Three-dimensional finite element modelling of free vibrations of functionally graded sandwich panels.// Altenbach H., Chróścielewski J., Eremeyev V.A., Wiśniewski, K. (eds.) Recent Developments in the Theory of Shells. Advanced Structured Materials. Cham: Springer, 2019. Vol. 110.PP. 157–177.

[3] ABAQUS User's Manual. Ver. 2016. Dassault Systèmes Simulia Corp. Providence, RI, USA, 2016.