

Олександр Григоренко¹, Максим Борисенко², Олена Бойчук³, Наталія Борейко⁴

¹завідуючий відділу обчислювальних методів, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАНУ, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко НАНУ,

Київ, Україна, e-mail: ayagrigorenko1991@gmail.com

²старший науковий співробітник відділу обчислювальних методів, кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко

НАНУ, Київ, Україна, e-mail: mechanics530@gmail.com

³старший викладач кафедри вищої та прикладної математики, кандидат фізикоматематичних наук, доцент, Миколаївський національний аграрний

університет, Миколаїв, Україна, e-mail: boychuklena27@gmail.com

⁴старший науковий співробітник відділу обчислювальних методів, кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко

НАНУ, Київ, Україна, e-mail: nataliya.petrivna@ukr.net

ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ШЕСТИКУТНИХ ПЛАСТИН З ОТВОРОМ

Анотація. Розглянуто вільні коливання ізотропних шестикутних пластин з вільними краями та жорстко закріпленим отвором на основі методу скінченних елементів. Встановлено залежність частоти і форми вільних коливань від співвідношення радіуса отвору до радіуса вписаного кола в шестикутник. Реалізовані підходи дають можливість досліджувати динамічні характеристики пластин з отвором інших конфігурацій і можуть бути використані для оцінки точності інших підходів.

Ключові слова: частоти і форми, вільні коливання, шестикутна пластина з отвором, метод скінченних елементів, жорстке закріплення.

Пластини різних форм і способів закріплення широко використовуються в проектуванні складних інженерних споруд, сучасних будівель, а також корпусів різноманітних машин і конструкцій спеціального призначення. Зокрема, корпуси сучасних космічних апаратів облаштовуються термостійкими багатокутними пластинами. В залежності від призначення та функціональності такі пластинчасті елементи можуть мати технологічні отвори, ребра жорсткості, змінну товщину, різні способи закріплення та інші конструктивні неоднорідності. Щоб уникнути руйнування таких споруд під час резонансу, важливо мати дані про розподіл частот і форми вільних коливань кожної окремої пластини.



Сучасні комп'ютерні програмні комплекси автоматизованого проектування, які проводять розрахунки методом скінченних елементів (МСЕ), часто застосовують для визначення частот і форм вільних коливань різних механічних систем [1, 2]. Одним з таких комплексів є FEMAP з розв'язувачем NX Nastran [3], який апробовано на розрахунках частот вільних коливань трикутних [4] та п'ятикутних [5] пластин з отвором з експериментальним підтвердженням отриманих результатів. В [6] розглянуто вільні коливання ізотропних шестикутних пластин різної товщини з вільними краями на основі МСЕ, а в [7] досліджено поперечні коливання тонкої пружної пластини шестикутної форми, наведено деякі частоти та форми вільних коливань пластини з вільними краями та жорстко закріпленими краями.

Метою даного повідомлення є розрахунок методом скінченних елементів частот та форм вільних коливань ізотропних тонких шестикутних пластин закріплених по отвору та встановлення залежності динамічних характеристик від радіуса отвору.

За допомогою FEMAP побудовано геометрії пластин правильної шестикутної форми зі стороною $a=69,28$ мм, товщиною $h=2$ мм, отвором в центрі з різними співвідношеннями радіуса отвору до радіуса вписаного кола в шестикутник r_o/r : 1/12; 1/10; 1/8; 1/6; 1/4; 1/3; 1/2; 2/3; 3/4 та без отвору. Як матеріал пластин був вибраний алюміній з наступними параметрами: модуль Юнга $E=71$ ГПа, коефіцієнт Пуассона $\nu=0,33$, густина $\rho=2710$ кг/м³. Пластини досліджувались при вільних краях (F_e) та жорстко закріпленому отвору (C_h).

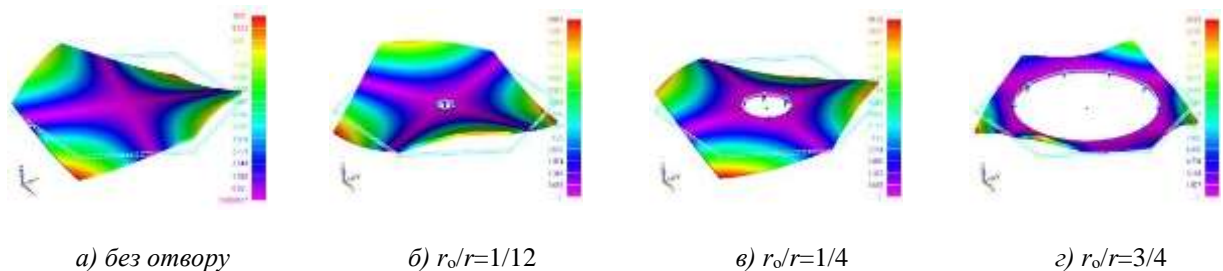


Рисунок 1 – Перша форма вільних коливань шестикутних пластин з отвором та без

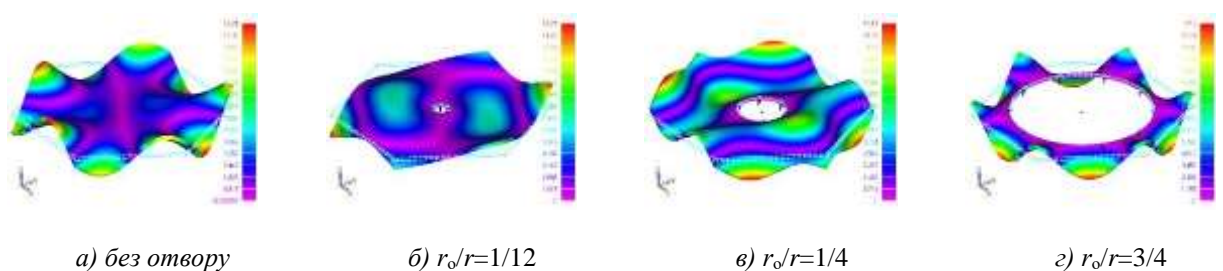


Рисунок 2 – Десята форма вільних коливань шестикутних пластин з отвором та без



В результаті розрахунків отримано частоти та форми вільних коливань шестикутних пластин з отвором та без. Для порівняння наведені (рис. 1, 2) форми вільних коливань деяких розглянутих пластин.

Висновки. Поширено метод скінченних елементів для визначення частот і форм вільних коливань тонких ізотропних шестикутних пластин з жорстко закріпленим отвором різного радіусу з вільними краями. Встановлено збільшення частоти вільних коливань пластин із збільшенням радіуса жорстко закріпленого круглого отвору. Перші дві форми коливань є однаковими для всіх розглянутих співвідношень r_0/r , наступні форми коливань не є однаковими, спостерігається спотворення форм коливань за рахунок збільшення полів нульових переміщень навколо жорстко закріпленого отвору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chen, Y., Jin, G., Zhu, M., Liu, Z., Du, J., & Li, W. L. (2012). Vibration behaviors of a box-type structure built up by plates and energy transmission through the structure. *Journal of Sound and Vibration*, 331 (4), 849-867.
2. Shi, X., & Shi, D. (2018). Free and forced vibration analysis of T-shaped plates with general elastic boundary supports. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 37 (2), 355-372.
3. Рудаков, К.Н. (2011). FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. К. НТУУ «КПИ».
4. Grigorenko, O.Y., Borisenko, M.Y., Boichuk, O.V., & Vasileva, L.Y. (2021). Free Vibrations of Triangular Plates with a Hole. *International Applied Mechanics*, 57 (5), 534–542.
5. Григоренко, О.Я., Борисенко, М.Ю., Бойчук, О.В., Сперкач, С.О., & Безугла, А.Д. (2023). Вільні коливання п'ятикутних пластин з отвором. *Допов. Нац. акад. наук Укр.*, (1), 24–31.
6. Grigorenko, A., Borysenko, M., Boychuk, O., & Boreiko, N. (2024). Numerical Analysis of Free Vibration Frequencies of Hexagonal Plate. In *Selected Problems of Solid Mechanics and Solving Methods* (pp. 201-220). Cham: Springer Nature Switzerland.
7. Laura, P. A. A., & Rossi, R. E. (2002). Transverse vibrations of a thin, elastic plate of regular hexagonal shape. *Journal of Sound Vibration*, 256 (2), 367–372.

