

10. Paul H.S. Torsional vibration of a circular cylinder of piezoelectric β -quartz // Arch. Mech. Stosow. – 2010. – V. 14. – P. 127.
11. Puzyrev V. Elastic waves in piezoceramic cylinders of sector cross-section. // Int. J. Solids Struct. – 2010. – V. 47. – P. 2115–2122.
12. Shatalov, M. Analysis of non-axisymmetric wave propagation in a homogeneous piezoelectric solid circular cylinder of transversely isotropic material. / Every, A., Yenwong-Fai, A. // Int. J. Solids Struct. – 2020.– V. 21 – 19–26

УДК 539.3

ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ТОВСТОСТІННИХ ОБОЛОНОК

Олександр Григоренко¹, Максим Борисенко¹,

Олена Бойчук², Тетяна Пінчук³

¹ Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

² Миколаївський національний аграрний університет

³ Технічний центр НАН України

*ayagrigorenko1991@gmail.com, mechanics530@gmail.com,
boychuklena27@gmail.com, tcnanu@online.ua*

Чисельно визначаються частоти і форми вільних коливань товстостінних циліндричних оболонок з різним співвідношенням товщини оболонки до радіусу середньої поверхні з різними варіаціями жорсткого закріплення на торцях методом скінченних елементів, який реалізовано за допомогою ліцензійного програмного комплексу FEMAP. Проводиться порівняльний аналіз отриманих результатів з результатами отриманими експериментально.

Товстостінні циліндричні оболонки широко застосовуються в різних інженерних конструкціях та в будівництві. Такі конструкції часто знаходяться під дією динамічним навантаженням різної природи, що може спричинити руйнування в результаті резонансу. Для уникнення руйнувань необхідно володіти інформацією про їхні динамічні характеристики, а саме про частоти і форми вільних коливань. Розв'язок даної задачі в теорії тонких оболонок можливий за допомогою різних теорій [2, 3, 7, 9-11], однак в разі товстостінних оболонок стає неможливим застосування більшості теорій, оскільки для проведення обчислень необхідно використовувати просторову теорію, що пов'язано з великими обсягами обчислювального характеру.

Одним з варіантів розв'язування цієї проблеми є використання системи автоматизованого конструювання (computer-aided engineering - CAE), яка дає можливість проводити розрахунок конструкцій будь-якої форми на основі використання методу скінченних елементів (МСЕ) [4, 6]. Також цю проблему можна розв'язати, використовуючи безконтактний експериментальний метод стробоголографічної інтерферометрії [1, 5, 8].

Метою даного повідомлення є визначення частот і форм вільних коливань товстостінних циліндричних оболонок з різним співвідношенням товщини оболонки до радіусу середньої поверхні з різними варіаціями жорсткого закріплення на торцях методом скінченних елементів, який реалізовано за допомогою ліцензійного програмного комплексу FEMAP. Геометрія циліндричних оболонок, фізико-механічні характеристики матеріалу та розбивка скінченними елементами обрані у відповідності до оболонок розглянутих в [5, 6]. В результаті дослідження отримані результати які мають малу розбіжність з результатами отриманими раніше експериментально методом стробоголографічної інтерферометрії. В таблиці 1 представлені частоти вільних коливань розраховані МСЕ та отримані експериментально в [5], де ε – відхилення між результатами.

Табл. 1. Частоти вільних коливань

m	n	f, Гц		ε , %
		МСЕ	[5]	
1	4	2396	2238	6,6
1	6	4598	4544	1,2
1	8	8424	8346	0,9
1	10	13303	13193	0,8
2	4	7082	6722	5,1
2	6	7127	7047	1,1
2	8	10169	10090	0,8
2	10	14812	14700	0,8

На рис. 1-2 зображені деякі форми вільних коливань отримані в FEMAP та експериментально в [5].

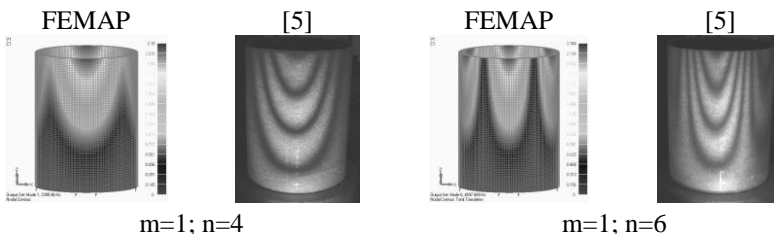


Рис. 1. Форми вільних коливань

FEMAP

[5]

FEMAP

[5]

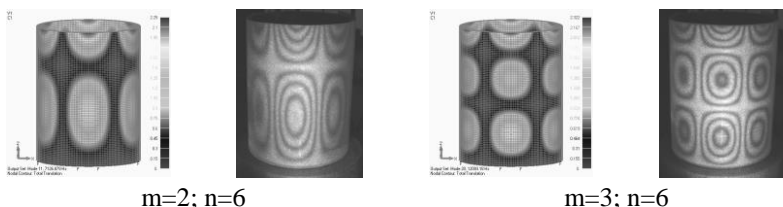


Рис. 2. Форми вільних коливань

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Будак В.Д., Григоренко О.Я., Борисенко М.Ю., Пригода О.П., Бойчук О.В. Визначення власних частот тонкостінної оболонки некругового поперечного перерізу методом строболографічної інтерферометрії // Проблеми вычислительной механики и прочности конструкций. – 2015. – № 24. – С. 18 – 25.
2. Григоренко А.Я., Ефимова Т.Л. Применение метода сплайн-аппроксимации для решения задач об осесимметричных свободных колебаниях толстостенных ортогональных цилиндров // Прикл. механика. – 2008. – 44, № 10. – С. 74 – 85.
3. Arnold R.N., Warburton. G.B. The flexural vibration of thin cylinders // Proc. Inst.Mech.Engrs. – 1953. – 167 A, N 1. – P. 62 – 80.
4. Budak V.D., Grigorenko A.Ya., Borisenko M.Yu., Boychuk E.V. Determination of eigenfrequencies of an elliptic shell with constant thickness by the finite-element method // J. of Mathematical Sci. – 2016. – 212, N 2. – P. 182 – 192.
5. Budak V.D., Grigorenko A.Ya., Khorishko V.V., Borisenko M.Yu. Holographic Interferometry Study of the Free Vibrations of Cylindrical Shells of Constant and Variable Thickness // Int. Appl. Mech. – 2014. – 50, N 1. – P. 68 – 74.
6. Grigorenko A.Y., Borisenko M.Y., Boichuk E.V., Prigoda A.P. Numerical determination of natural frequencies and modes of the vibrations of a thick-walled cylindrical shell // International Applied Mechanics. – 2018. – Т. 1. – №. 54. – С. 75-84.
7. Grigorenko Ya.M., Rozhok L.S. Solving the Stress Problem for Hollow Cylinders with Corrugated Elliptical Cross Section // Int. Appl. Mech. – 2004. – 40, N 2. – P. 169 – 175.
8. Grigorenko A., Zolotoi Yu., Prigoda A., Zhuk I., Khorishko V., Ovcharenko A. Experimental investigation of natural vibrations of a thick-walled cylindrical shell by the method of holographic interferometry // J. of Mathematical Sci. – 2013. – 194, N 3. – P. 239 – 244.
9. Leissa A.W. Vibration of Shells // NASA SP-288: US Government Printing Office, Washington DC, 1973. – 438 p.
10. Mazch T. [et al.] Natural modes and frequencies of a thin clamped-free steel cylindrical storage tank partially filled with water: FEM and measurement // J. Sound Vib. – 1996. – 193, N 3. – P. 669 – 690.

11. Pellicano F. Linear and Nonlinear vibration of shells // Proc. 2nd Int. Conference on Nonlinear Normal Modes and Localization in Vibration Systems, Samos, June 19 – 23, 2006. – P. 1 – 12.

УДК 519.8

УЗАГАЛЬНЕНІ КОМБІНАТОРНІ КОНФІГУРАЦІЇ: ТЕОРІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Леонід Гуляницький

Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України

leonhul.icyb@gmail.com

Вводяться поняття узагальнених комбінаторних конфігурацій, що є розвитком поняття конфігурацій, запропонованого К. Бержем. Розглядаються питання формального означення важливого як в теоретичному, так і в прикладному аспектах терміну "задача комбінаторної оптимізації"

Відштовхуючись від поняття дискретного простору, пропонуються строгі означення ряду важливих понять, таких як задача комбінаторної оптимізації (ЗКО), комбінаторний простір, узагальнена комбінаторна конфігурація. Пропонована формалізація узагальнених комбінаторних конфігурацій здійснена на основі розвитку запропонованого К.Бержем поняття конфігурації [1] та підходу, запропонованого в [2] (де вживався термін комбінаторний об'єкт). Нехай $U = \{1, \dots, m\}$, а V – деяка скінченна лінійно впорядкована множина (ланцюг); позначимо $n = \|V\|$.

Означення 1. Під конфігурацією у сенсі Бержа розуміється відображення $f: U \rightarrow V$, яке задовольняє певній системі обмежень Λ .

На основі цього підходу побудовані конфігурації, які відповідають найпростішим комбінаторним об'єктам: розміщенням, перестановкам, комбінаціям, розбиттям та іншим об'єктам, утвореним на основі урнної схеми.

Проте, поза рамками цієї схеми залишилися інші комбінаторні об'єкти, наприклад, графи, гіперграфи, булеві простори, перестановочні матриці та ін. Пропонується узагальнення схеми К. Бержа, що дозволяє породжувати та класифікувати більш широке коло комбінаторних структур.