

degree of the closing bolt. The dependency looks so:  $\Delta P = A_1 n^2 + B_1 n + A_2 s^2 + B_2 s + A_0$ , where  $A, B$  - a factors to linearizations;  $n$  - a frequency of the rotation of the pump;  $s$  - a degree of the closing bolt.

By findings first and the second derived find importances of the frequency of the rotation of the pump and degree of the closing adjusting bolts, under which loss to energy will be minimum.

Adjusting the systems CAD pumping unit on work on functions of the minimum losses will allow to reduce the loss to energy on need caldron-turbine equipment heat power station.

## **ВИБІР СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ ШЕСТИКУТНОЇ ПЛАСТИНИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЧАСТОТ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ**

Борисенко М.Ю.<sup>1</sup>, Міхрін Е.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

<sup>2</sup>Миколаївський муніципальний колегіум ім. В.Д. Чайки

Сучасна інженерія побудована на моделюванні та розрахунках досліджуваних об'єктів за допомогою різних чисельних методів та програм. Одним з таких методів є метод скінченних елементів (МСЕ), який лежить в основі багатьох програм для інженерного розрахунку, наприклад, програми FEMAP з розв'язувачем NX Nastran, яка використовується в ряді досліджень [1-2].

Дане повідомлення присвячене побудові скінченно-елементної моделі тонкої ізотропної шестикутної пластини з вільними краями для розрахунку частот вільних коливань за допомогою програмного комплексу FEMAP. Для більш точного проведення розрахунків частот вільних коливань МСЕ необхідно коректно побудувати скінченно-елементну модель, правильно обрати вид скінченного елемента та його розмір з урахуванням оптимального комп'ютерного часу розрахунку.

Дослідження вибору типу і розміру скінченного елемента (plate, brick, tetra (рис. 1)) проводилось на сталевій пластинці у вигляді правильного шестикутника з параметрами: сторона  $a = 0,24\text{ м}$ , товщина  $h = 0,004\text{ м}$ , модуль Юнга  $E = 214\text{ ГПа}$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,32$ , густина  $\rho = 7820\text{ кг/м}^3$ .

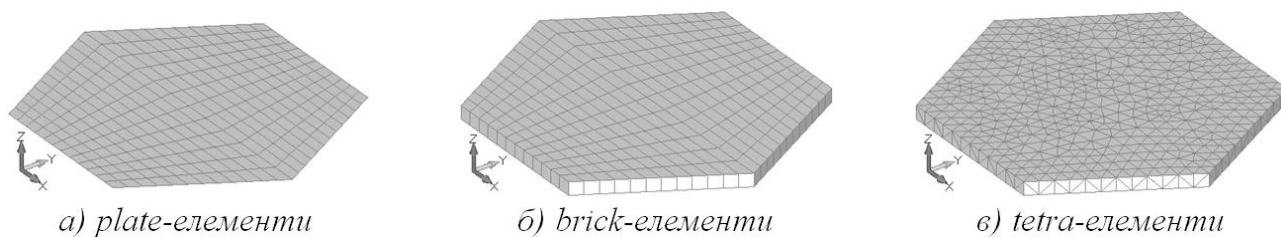


Рис. 1. Скінченно-елементні моделі

Розраховані частоти при різних типах та розмірах елементів наведені в таблиці 1, де: Elements – кількість елементів; Nodes – кількість вузлових точок; Time – відносний час комп’ютерного розрахунку.

Таблиця 1

Частоти вільних коливань шестикутної пластини

| Form     | f, Гц  |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | Plate  |        |        | Brick  |        |        | Tetra  |        |
|          | h      | h/2    | h/3    | h      | h/2    | h/3    | h      | h/2    |
| 1        | 110,89 | 110,90 | 110,90 | 110,89 | 110,91 | Error  | 110,92 | Error  |
| 2        | 110,90 | 110,90 | 110,90 | 110,90 | 110,91 | Error  | 110,92 | Error  |
| 3        | 188,78 | 188,87 | 188,88 | 188,65 | 188,81 | Error  | 188,85 | Error  |
| 4        | 236,22 | 236,17 | 236,13 | 236,37 | 236,28 | Error  | 236,30 | Error  |
| 5        | 280,26 | 280,40 | 280,43 | 280,07 | 280,31 | Error  | 280,39 | Error  |
| 6        | 418,17 | 418,66 | 418,75 | 417,90 | 418,53 | Error  | 418,78 | Error  |
| 7        | 418,69 | 418,79 | 418,80 | 418,34 | 418,64 | Error  | 418,80 | Error  |
| 8        | 445,92 | 446,02 | 446,01 | 445,92 | 446,05 | Error  | 446,20 | Error  |
| 9        | 445,96 | 446,07 | 446,04 | 445,92 | 446,13 | Error  | 446,21 | Error  |
| 10       | 701,21 | 701,59 | 701,61 | 700,94 | 701,54 | Error  | 701,87 | Error  |
| Time     | 1      | 3      | 12     | 2      | 38     | 105    | 93     | 96     |
| Elements | 7381   | 29161  | 65341  | 7200   | 57600  | 261364 | 50992  | 400389 |
| Nodes    | 7200   | 28800  | 64800  | 14762  | 87483  | 194400 | 99407  | 239963 |

При деяких розрахунках програма видає помилку (Error), що пов’язано з нехваткою пам’яті комп’ютера. Аналізуючи таблицю 1 можна побачити збіжність розрахунків частоти вільних коливань для тонкої пластини при розбитті plate-елементами розмірами  $h/2$  і  $h/3$  при цьому час комп’ютерного розрахунку збільшився в чотири рази при  $h/3$ ; також частоти мають мале відхилення для розбиття plate-елементами розміром  $h/2$  та brick-елементами розміром  $h/2$ , при цьому час комп’ютерного розрахунку збільшився майже в тринадцять разів при розрахунках brick-елементами. Розрахунки при розбитті tetra-елементами займають найбільше часу за рахунок великої кількості елементів, але при цьому не можна спостерігати хорошої збіжності розрахунків в порівнянні з іншими

розрахунками. Узагальнюючи отримані результати можна дійти висновки, що тонкі пластини краще розбивати plate-елементами або brick-елементами, різниця полягає тільки у часі комп'ютерного розрахунку.

#### Список використаних джерел

1. Григоренко О.Я., Борисенко М.Ю., Бойчук О.В. Чисельне визначення частот і форм вільних коливань рівнобедрених трикутних пластин з вільними краями. *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* 2020. **63**, № 3. С. 28-39.
2. Grigorenko O.Y., Borisenko M.Y., Boichuk O.V., Vasil'eva L.Y. Free Vibrations of Triangular Plates with a Hole. *Int. Appl. Mech.* 2021. **57**, № 5. P. 534-542.

## РОЗРАХУНОК ЧАСТОТ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ГОФРОВАНИХ ПЛАСТИН З РІЗНИМ ПРОФІЛЕМ ГОФРУВАННЯ

Борисенко М.Ю.<sup>1</sup>, Лобов В.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

<sup>2</sup>Миколаївський муніципальний колегіум ім. В.Д. Чайки

Однією з актуальних задач прикладної математики є дослідження коливань плоских конструкцій різної форми з урахуванням розподілу ребер жорсткості у вигляді гофр, які дають змогу підвищити стійкість конструкції при тій самій вазі пластинки. У зв'язку з цим, є необхідним поширити чисельні методи на дослідження частот і форм вільних коливань гофрованих квадратних пластин з жорстко закріпленими краями. Одним з таких методів, є метод скінченних елементів (МСЕ), який лежить в основі роботи програми FEMAP, яка апробована в ряді досліджень [1-2].

За допомогою системи FEMAP побудовані три тонкі алюмінієві (модуль Юнга  $E = 71 \text{ ГПа}$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,34$ , густина  $\rho = 2710 \text{ кг/м}^3$ ) квадратні гофровані пластини зі стороною  $a = 0,14 \text{ м}$ , товщиною  $h = 3 \text{ мм}$ , кількістю гофрів  $k = 2$  з різними профілями (рис. 1). При способі гофрування  $G1$  відбувається тільки пряме зміщення матеріалу на  $h/2$  по товщині пластини, при  $G2$  – пряме зміщення матеріалу на  $h/2$  по товщині пластини та набігання матеріалу на  $h/2$  по ширині пластини, при  $G3$  – криве зміщення матеріалу із