

**С.В. КРАСНИКОВ**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., НТУ «ХПІ»

## МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ФУНДАМЕНТУ ТУРБОГЕНЕРАТОРУ ПОТУЖНІСТЮ 200 МВт

Приведены результаты исследования собственных частот и форм колебаний фундамента турбогенератора мощностью 200 МВт. Проанализирован частотный спектр в контролируемых диапазонах и соответствующие им формы колебаний. Отмечены места, которые нуждаются в повышении жесткости. Моделирование и расчеты выполнены методом конечных элементов.

**Ключевые слова:** фундамент турбины, наиболее нагруженные зоны, модели разрушения.

**Вступ.** Основним обладнання електростанцій, що має високі вібраційні навантаження є турбогенератор та його фундамент. У вітчизняному будівництві електростанцій більшість фундаментів є залізобетонними та монолітними конструкціями. За звичай фундаменти будуються за типовим проектом. Проте критерії проектування, згідно норм на час будівництва більшості енергоблоків потужністю 200 МВт, були надто прозорими та спрощеними, що зумовлено складністю розрахунків статичного та особливо вібраційного стану фундаментів турбогенераторів. Внаслідок цього фундаменти можуть мати резонансні процеси у робочому діапазоні [1]. Значний час експлуатації майже всіх фундаментів турбогенераторів, що розглядаються в даній роботі, низив їх властивості демпфування та жорсткості. Все це становить актуальним задачу аналізу власних частот та форм коливань типових фундаментів, що встановлені в енергоблоках 200 МВт.

**Мета роботи.** Побудова моделі вібраційного стану фундаменту турбогенератору потужністю 200 МВт. Аналіз власних частот у контрольованих діапазонах та відповідних форм власних коливань. Дослідження найменш жорстких місць та елементів фундаменту.

**Розрахункова модель.** Моделювання та розрахунки фундаменту виконано за допомогою метода скінчених елементів. Система рівнянь для задачі власних коливань за цим методом має вигляд:

$$M \{\ddot{q}(t)\} + K \{q(t)\} = 0 ,$$

де  $M$  – матриця мас,  $K$  – матриця жорсткості,  $q(t)$  – вектор переміщень.

Для фундаменту побудовано серію скінченноелементних моделей згідно раніше розроблених методик [2]. Серед них для розрахунку було обрано модель, що показано на рис. 1. Цифрами означено номери пар колон.

Параметри цієї моделі: 105954 вузлів, 65311 скінчених елементів. Граничні умови, що накладено на модель щільне закріплення нижньої площини

фундаменту. Перевірка на математичну збіжність розрахунків показала, що похибка обчислення деформацій та переміщень складає менше 1 %.

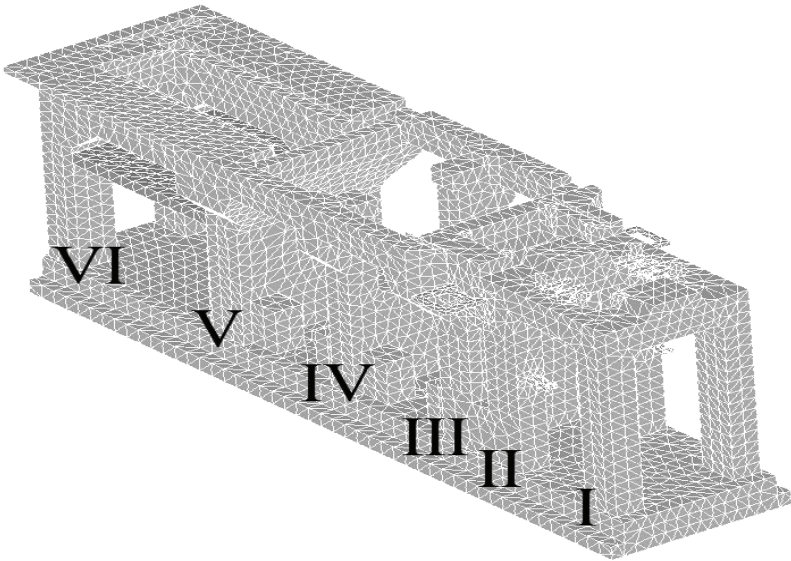


Рисунок 1 – Скінченноелементна модель фундаменту

**Чисельні дослідження.** Проведено розрахунки власних коливань у діапазоні 0-55 Гц. Цей діапазон є можливим діапазоном роботи турбогенератору. При перевищенні частоти 55 Гц турбогенератор зупиняється автоматикою обладнання електростанції. Регламентований робочий діапазон турбін цього типу є 49,0-50,5 Гц. На частоті кратній 2 можливо появлення автоколивального процесу. Тому додатково контрольованим діапазоном є 24,5-25,5 Гц. Враховуючи розбіжність характеристик залізобетону фундаменту та його значний час експлуатації контрольованими діапазонами зазначимо 47-55 Гц та 24-27 Гц.

За результатами розрахунків знайдено наступні кількості власних частот:

- 1) в діапазоні від 0 до 55 Гц – 65 власних частот;
- 2) в діапазоні від 47 до 55 Гц – 17 власних частот;
- 3) в діапазоні від 24 до 27 Гц – 5 власних частот.

Власні форми коливань за прийнятою класифікацією [3, 4] поділяються на два види:

- глобальні, що характеризуються значними амплітудами коливань більшої частини елементів фундаменту;
- локальні, що відповідають наступному розподілу: найбільші амплітуди коливань мають один чи декілька елементів фундаменту, а більшість в порівнянні до них – близькі до нуля значення амплітуд коливань.

У відповідності до вищезазначеного аналіз власних форм коливань показав:

- 1) в діапазоні від 0 до 55 Гц – 11 глобальних форм коливань;
- 2) в діапазоні від 47 до 55 Гц – 2 глобальні форми коливань;
- 3) в діапазоні від 24 до 27 Гц – 0 глобальних форм коливань.

Найбільша кількість форм коливань фундаменту є локальними, що характеризуються найбільшими амплітудами коливань металевих частин фундаменту. На рис. 2-4 показано форми власних коливань відповідно до діапазону частот 47-55 Гц, що характеризуються найбільшими амплітудами коливань залізобетонних елементів фундаменту.

На рис. 2 показано локальну форму коливань. Найбільші амплітуди мають пара колон № I та металеві конструкції між парами колон № V та VI.

На рис. 3 показано глобальну форму коливань. Найбільші амплітуди мають пари колон № I, IV, V, верхні балки поблизу пари колон № IV та металеві конструкції між парами колон № V та VI.

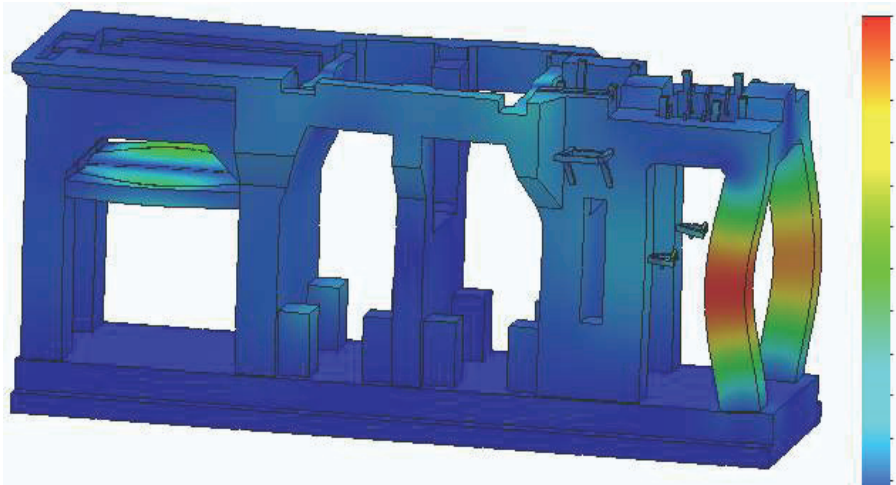


Рисунок 2 – Локальна форма коливань на власній частоті 48,3 Гц

На рис. 4 показано глобальну форму коливань. Максимальні амплітуди коливань у пари колон № IV. Крім них найбільші амплітуди мають пари колон № I, II, V, верхні балки поблизу пари колон № IV та металеві конструкції між парами колон № V та VI.

З проведеного аналізу бачимо, що серед залізобетонних елементів найбільші амплітуди мають пари колон № I та IV. Серед них пара колон № IV знаходиться посеред конденсатору, що декілька підвищує жорсткість близьких до нього залізобетонних елементів фундаменту. Тому найбільші вібрації у робочому діапазоні турбогенератора виникають у пари колон № I фундаменту.

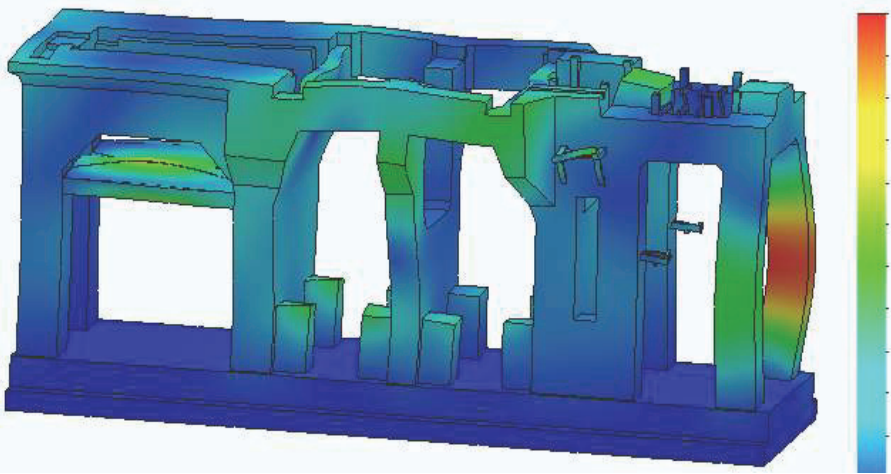


Рисунок 3 – Форма коливань на власній частоті 50,1 Гц

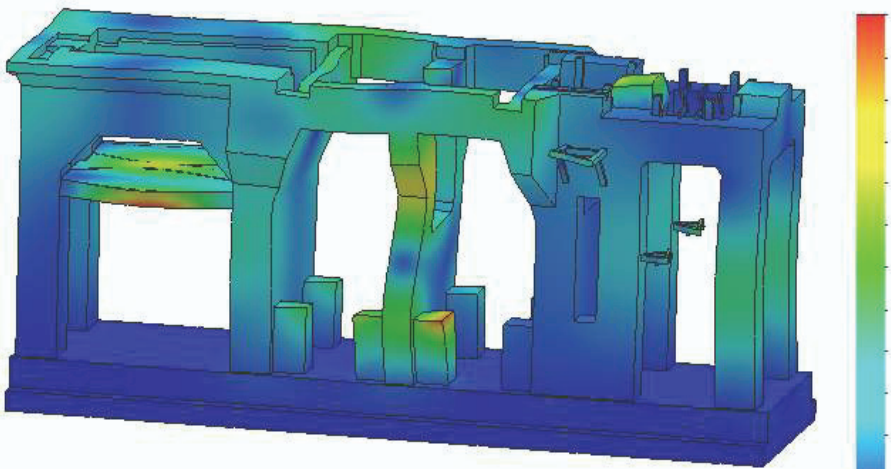


Рисунок 4 – Форма коливань на власній частоті 50,9 Гц

**Висновки.** Проведено дослідження власних коливань фундаменту турбогенератору 200 МВт. Побудовано скінченноелементну модель. Проведено аналіз власних частот коливань, фундамент має щільний їх спектр, що є характерним для конструкцій цього типу. В контрольованих діапазонах частот знаходиться лише дві власні частоти, що мають відповідні до них глобальні форми коливань. Найбільші амплітуди коливань мають залізобетонні пари колон № I та IV. У першу чергу підвищувати жорсткість рекомендовано у пари колон № I.

**Список літератури:** 1. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний систем турбоагрегат-фундамент. – К.: Наукова думка, 1991. – 232 с. 2. Красніков С.В., Степченко О.С., Торянік А.В. Комп'ютерне моделювання багатокорпусного турбоагрегату та аналіз його вібраційних характеристик // *Машинознавство*. – Львів: Кінпатрі, 2009. – № 2. – С.27-33. 3. Шейнин И.С., Цейтлин Б.В. Теоретическое исследование динамических характеристик ряда фундаментов под мощные турбоагрегаты // *Изв. ВНИИГ им. Веденева*. – 1981. – № 151. – С. 81-87. 4. Красніков С.В. Моделювання та аналіз вібраційних характеристик фундаменту енергоблоку потужністю 300 МВт // *Вісник НТУ «ХП»*. – Х.: НТУ «ХП», 2011. – № 52. – С. 107-111.

*Надійшла до редколегії 31.07.2013*

УДК 519 : 539 : 534

**Моделювання власних коливань фундаменту турбогенератору потужністю 200 МВт / С. В. Красніков** // *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 58 (1031). – С. 88-92. – Бібліогр.: 4 назв.

Наведено результати дослідження власних частот та форм коливань фундаменту турбогенератору потужністю 200 МВт. Проаналізовано частотний спектр у контрольованих діапазонах та відповідні їм форми коливань. Означено місця, що потребують підвищення жорсткості. Моделювання та розрахунки виконано за методом скінчених елементів.

**Ключові слова:** фундамент турбіни, найбільш навантажені зони, моделі руйнування.

The results of the study of natural frequencies and modes of foundation turbogenerator 200 MW are described. The analysis of the frequency range of the controlled ranges and their corresponding forms of vibrations are given. Appointing places, requiring increasing rigidity foundation are completed. Modeling and calculations performed by the method of finite elements.

**Key words:** foundation turbine, most loaded areas, damage model.