

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

## МОДЕЛЮВАННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ ФУНДАМЕНТУ ТУРБОГЕНЕРАТОРУ ЛУГАНСЬКОЇ ТЕС

Приведены результаты исследования вынужденных колебаний фундамента турбогенератора мощностью 200 МВт. Построены и проанализированы амплитудно-частотные характеристики в контролируемом диапазоне. Моделирование и расчеты выполнены с использованием метода конечных элементов.

**Ключевые слова:** вынужденные колебания, фундамент, турбогенератор, амплитудно-частотные характеристики.

**Вступ.** Фундаменти енергоблоку зазвичай мають найбільший ресурс роботи з обладнання енергоблоку. У більшості фундаментів при проектуванні належним чином не враховувались вібраційні характеристики та їх вплив на працездатність енергоблоку. При цьому підвищений ресурс, що був одним з критеріїв проектування, забезпечувався на базі обчислень статичної міцності. Результати такого підходу дозволили функціонувати більшості нових енергоблоків, проте руйнівні процеси призвели до необхідності капітального ремонту окремих фундаментів задовго до вичерпання проектного ресурсу. Як правило ремонтні роботи виконувались за традиційно розробленими методиками реконструкції залізобетонних будівель та не ставили задачі з перебудови фундаменту задля оптимізації вібраційних характеристик. Тому більшість фундаментів, що надбали за час експлуатації значних руйнівних пошкоджень, не мають розрахунків вібраційних параметрів [1]. Майже всі вітчизняні фундаменти мають вичерпаним або близьким до цього проектний ресурс. Тому задача з моделювання вимушених коливань фундаменту є важливою та актуальною для енергетичного комплексу нашої країни.

**Мета роботи.** Побудова моделі та проведення розрахунків вимушених коливань фундаменту енергоблоку потужністю 200 МВт. Проведення аналізу з амплітудно-частотних характеристик у робочому діапазоні.

**Розрахункова модель.** Моделювання виконано зроблено за раніше розробленими методиками [2]. Опис скінчено-елементної моделі фундаменту зроблено в статті [3]. Система рівнянь для задачі вимушених коливань має вигляд:

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

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

На рис. 1 показано скінчено-елементну модель фундаменту. Латинськими цифрами означено номери пар колон, арабськими цифрами у колі показано місця навантажень, що співпадають з місцезнаходженням опор ротору турбогенератору. У кожному місці навантаження відбувалось за трьома напрямками силою в 1 Н.

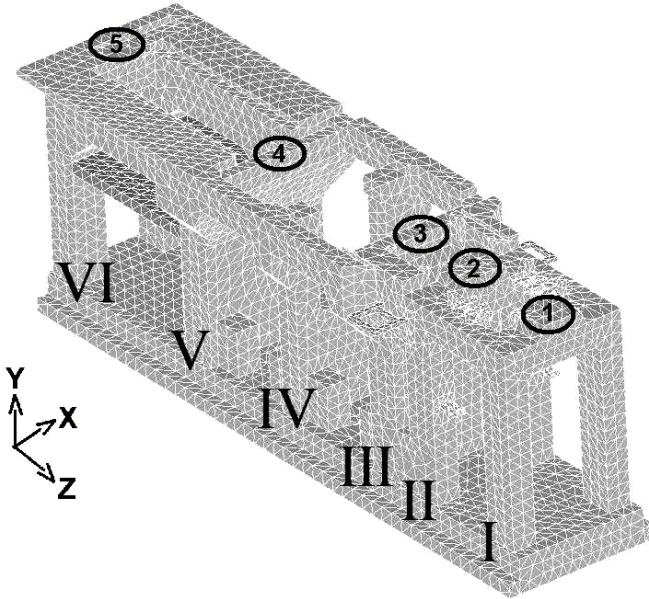


Рисунок 1 – Місця навантажень на моделі фундаменту

**Чисельні дослідження.** Проведено розрахунки вимушених коливань у робочому діапазоні 48-51 Гц. Аналіз амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) показав, що АЧХ у місці 5 за всіма напрямками та у місці 3 за напрямком X є зростаючими (рис. 2), а більшість графіків є регресивними (рис. 3).

З рис. 2 видно, що амплітуди коливань мають досить невеликі значення, зі зменшенням частоти їх величини зменшуються. Як правило вітчизняні турбогенератори більшість часу працюють з частотою меншою за 50 Гц. Отже вібраційні характеристики у місці 5 та у місці 3 за напрямком X не перевищують нормативні значення.

Регресивні графіки в усіх інших АЧХ (наприклад, рис. 3) призводять до підвищення амплітуд коливань зі зменшенням частоти, що є негативним процесом.

У табл. 1 наведені значення амплітуд коливань на нормативній робочій частоті 50 Гц. З табл. 1 видно, що найбільші величини амплітуд коливань є в АЧХ місць 1 та 2 (напрямок Y) та АЧХ місця 4 (напрямок X). Проте у перших двох випадках нормативні значення в декілька разів перевищує означені

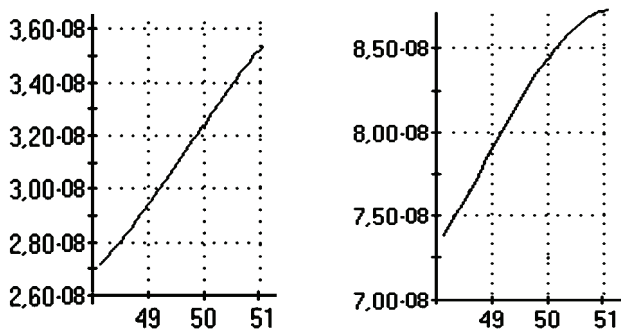


Рисунок 2 – Амплітудно-частотні характеристики у напрямку X місце 3 (ліворуч) та 5 (праворуч)

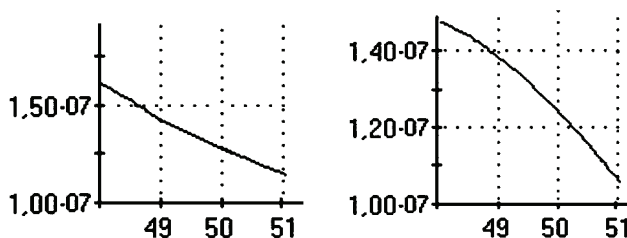


Рисунок 3 – Амплітудно-частотні характеристики у напрямку Y місце 2 (ліворуч) та напрямку Z місце 4 (праворуч)

Таблиця 1 – Амплітуди коливань на робочій частоті

| Місце | Напрямок | Розрахунок, нм |
|-------|----------|----------------|
| 1     | Y        | 115            |
| 2     | Y        | 126            |
| 3     | Y        | 60             |
| 4     | Y        | 32             |
| 5     | Y        | 90             |
| 1     | Z        | 50             |
| 2     | Z        | 25             |
| 3     | Z        | 83             |
| 4     | Z        | 126            |
| 5     | Z        | 75             |
| 1     | X        | 60             |
| 2     | X        | 52             |
| 3     | X        | 33             |
| 4     | X        | 74             |
| 5     | X        | 84             |

величини. Для третього випадку (місце 4, напрямок X) припустиме нормативне значення складає 150 нм. З рис. 3 видно, що при зниженні частоти до 48 Гц значення амплітуди коливань підвищиться до гранично припустимої величини. Потрібно зазначити, що місце 4 співпадає з розміщенням опори, де з'єднуються ротори турбіни та генератору. Отже потрібно приділяти підвищену увагу щодо центровці роторів у цьому місці та профілактиці роботи підшипників.

**Висновки.** Результати дослідження АЧХ у діапазоні 48-51 Гц наступні:

1. Амплітуди вимушених коливань фундаменту не перевищують нормативні величини.

2. Знайдено одно місце, де можливо перевищення нормативних значень. Це опора ротору № 4. У цьому місці амплітуди коливань у напрямку ротору (Y) при зниженні робочої частоти до 48 Гц підвищуються до гранично припустимої величини.

3. Потрібно приділити додаткову увагу центрівці роторів та роботі підшипників опори № 4.

**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. Веденеева*. – 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. 5. 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.  
*Надійшла до редколегії 26.09.2013.*

УДК 519 : 539 : 534

**Моделювання вимушених коливань фундаменту турбогенератору Луганської ТЕС / С. В. Красніков** // *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 63 (1036). – С. 60-63. – Бібліогр.: 5 назв.

Наведено результати дослідження вимушених коливань фундаменту турбогенератору потужністю 200 МВт. Побудовано та проаналізовано амплітудно-частотні характеристики у контрольованому діапазоні. Моделювання та розрахунки виконано за методом скінчених елементів.

**Ключові слова:** вимушені коливання, фундамент, турбогенератор, амплітудно-частотна характеристика.

The results of the study of forced oscillations of foundation turbogenerator 200 MW are described. The analysis of the frequency response in a controlled range are given. Modeling and calculations performed by the method of finite elements.

**Key words:** forced oscillations, foundation, turbogenerator, frequency response.