

Larin O.O. Experimental on-road tests of the smooth movement of the specialized vehicle with non-linear cushioning. Vodka O.O., S.A. Sokolovsky, O.O. Larin, O.O. Nazarov. Vestnik NTU "KPI". Scientific Papers. Thematic issue "Dynamics and Strength of Machines". Kharkiv, 2012. № 55 (961). 91-99 Print. 15. Vodka A.A. Vibrational measurements system based on microelectromechanical sensor. A.A. Vodka, A.I. Trubayev, Yu. N. Uliyanov. Vestnik of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. Lugansk, 2012. № 9 (180). p. 1. 140-147 Print.

*Поступила (received) 20.11.2014*

УДК 519:539:534

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

### **МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ФУНДАМЕНТУ ПАРОВОЇ ТУРБИНИ**

Розглядається оцінка вібраційного стану та прогнозування робочого стану фундаментів парових турбін за весь період експлуатації. На основі раніше розроблених методів проведено комплекс розрахункових та експериментальних досліджень фундаменту парової турбіни працюючого енергоблоку електростанції. На основі отриманих даних проведено оцінку робочого стану в окремі періоди експлуатації, поточного робочого стану та остаточного стану. Побудовано криву стану конструкції. Отримано залишковий та загальний ресурс фундаменту. Зроблено рекомендації щодо подальшої експлуатації фундаменту парової турбіни.

**Ключові слова:** працездатність, вібраційний стан, вібрація, фундамент, парова турбіна.

**Вступ.** Більшість існуючих у східній Європі фундаментів парових турбін мають значний час експлуатації. Крім цього значна кількість зазначених фундаментів не задовольняють існуючим нормам з їх вібрації. Це зумовлено в менший мірі зменшенням ресурсу фундаментів та підвищенням норм з вібрації. Основною причиною є відсутність норм та вібраційної оцінки для фундаментів енергоблоків, що спроектовано більше 40 років тому. Ці енергоблоки потребують заміни або модернізації. Заміна є більш економічно та ресурсозатратною, тому для більшості енергоблоків її не використовують. Саме тому найчастіше турбіну та генератор модернізують частково замінюючи відпрацьовані вузли та агрегати на нове обладнання. Фундамент парової турбіни завжди використовують старий, проте виконують його оновлення щодо підвищення ресурсу та змін згідно модернізованого обладнання. Результатом є фундамент, що відрізняється від проектного. Це є причиною необхідності прогнозування характеристик статичної, динамічної міцності та ресурсу модернізованого фундаменту. За останнє сторіччя розроблено багато методів аналізу міцності та коливань залізобетонних фундаментів енергоблоків елек-

© С. В. Красніков, 2014

тростанцій [1, 2, 3], проте більшість з них розраховані на дослідження нового фундаменту. Тому є актуальною розробка нових методів дослідження статичної, динамічної міцності та ресурсу фундаменту, що має значний час експлуатації та суттєві зміни внаслідок модернізації.

**Мета роботи.** Розробка методик та математичних моделей, проведення дослідження щодо статичної, динамічної міцності та ресурсу фундаменту на основі комбінованого розрахунково-експериментального підходу. Об'єктом дослідження є вібраційний стан фундаменту парової турбіни працюючого енергоблоку потужністю 300 МВт вітчизняної електростанції.

**Методика дослідження та опис моделі фундаменту.** Основу методики дослідження складають методи теорії коливань, пружності, статистичної динаміки та надійності. Розроблено математичні моделі, що дозволяють проводити дослідження напружено-деформованого стану, коливань та надійності фундаментів на макрорівні та мікрорівні. В основі розрахунків є скінченно-елементний підхід, згідно якого функціонал руху має наведений в наступному вигляді [4, 5]:

$$M \{\ddot{q}(t)\} + K \{q(t)\} = r(t), \quad (1)$$

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

Розрахунково-експериментальна методика дослідження працездатності та прогнозування надійності фундаментів турбін електростанцій детально наведена в статті [6].

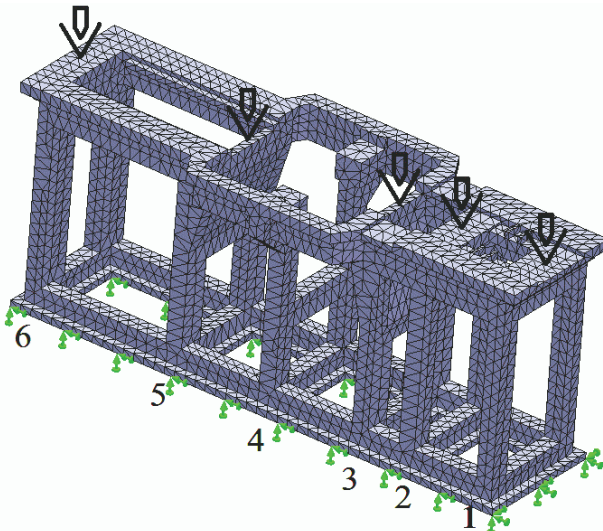


Рисунок 1 – Скінченно-елементна модель

Основою розрахункової частини дослідження є скінчено елементна модель. Фундамент парової турбіни складається з залізобетонних балок різного перетину, що умовно поділені на верхню, нижню частину та колони фундаменту. Нижня частина фундаменту лежить на фундаменті електростанції, що зазвичай має шар пом'якшення між ґрунтом та фундаментом. Було створено декілька скінчено-елементних моделей. Серед них з точки зору мінімальної похибки обчислень обрано модель, що зображено на рис. 1. Цифри означають номери пар колон. Розрахункова модель має наступні параметри: 37952 вузлів, 20052 скінчених елементів, 108474 ступенів волі, 2 % відносна похибка обчислень власних частот. Парова турбіна та генератор враховані за допомогою системи мас. Конструкція має жорстке кріплення нижньої частини.

**Результати дослідження.** По-перше визначимо основні границі стану A0, A1, додаткові Б, В та поточний стан конструкції Z [6]. Границі беремо з технічної документації для конструкцій фундаментів парових турбін [7-10] та конкретного фундаменту, що досліджується. Поточний стан конструкції визначаємо за допомогою експериментальних досліджень. Методика цих досліджень наведена в статі [6]. Результати наведено на рис. 2. Точкою та лінією Z позначено поточний стан конструкції.

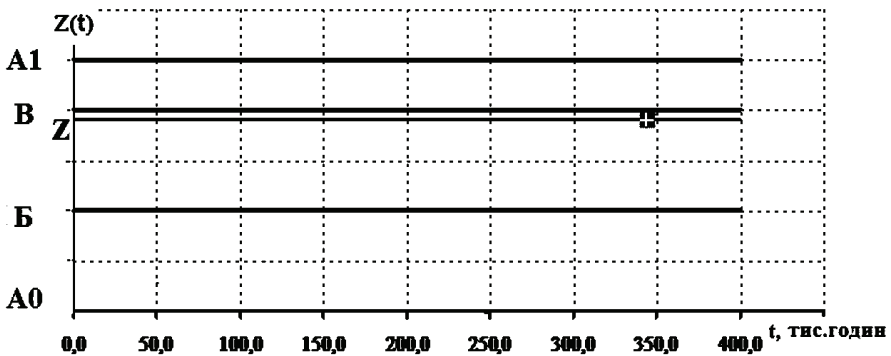


Рисунок 2 – Визначення границь та поточного стану фундаменту

Наступними діями є визначення додаткових точок для кривої стану. Визначення цих точок можливо двома шляхами – експериментальним та розрахунковим. Розрахункові дослідження виконано згідно раніше розроблених методик [5, 6]. Вібраційне навантаження зумовлено силами небалансу ротору. Місця навантаження зображено на рис. 1. За допомогою розрахункових досліджень знаходимо точку проектного робочого стану, що відповідає стану фундаменту при початку експлуатації. З технічної документації фундаменту знаходимо додаткові точки стану фундаменту, що відповідають експериментальним дослідженням. Отримані точки наносимо на графік (рис. 3).

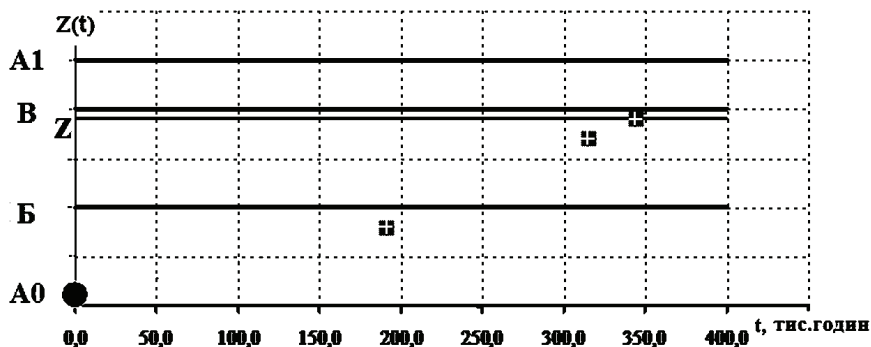


Рисунок 3 – Границі та точки робочого стану фундаменту

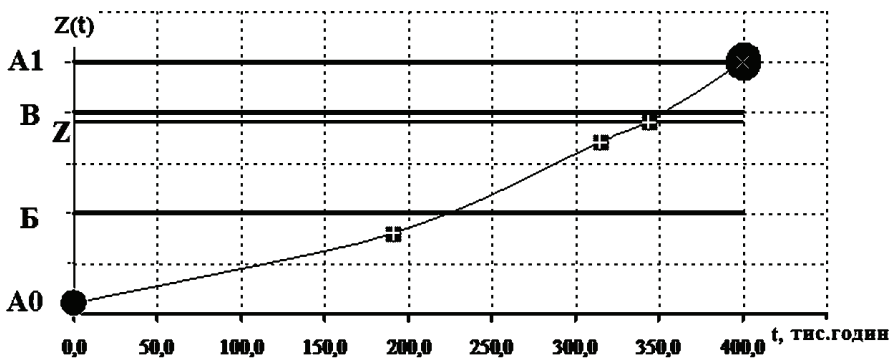


Рисунок 4 – Крива робочого стану фундаменту

За допомогою знайдених точок робочого стану будується апроксимаційна крива стану та знаходиться точка кінцевого стану фундаменту. Результати зображено на рис. 4. З цих даних бачимо, що залишковий ресурс фундаменту парової турбіни складає біля 60 тисяч годин, а загальний ресурс майже 400 тисяч часів. Вироблення цього ресурсу гарантовано приведе до аварійної ситуації. Крім цього поточний стан конструкції  $Z$  хоч і знаходиться в області індивідуальних стабільних працездатних станів, проте майже співпадає з її границею  $B$ . Це є негативним фактором і свідчить про підвищену ймовірність відмови фундаменту.

**Висновки.** За розробленими методиками проведено розрахунків та експериментальні дослідження. Проведено загальну дискретну характеристику робочого стану фундаменту. Побудовано інтегральну характеристику робочого стану конструкції у вигляді кривої стану. Знайдено залишковий та загальний ресурс фундаменту. Оцінка поточного стану показує необхідність терміново зробити реконструкцію фундаменту для зменшення ймовірності відмови та подовження ресурсу.

**Список літератури:** 1. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с. 2. Абашидзе А.И., Сапожников Ф.В., Казанджян А.Т. Фундаменты машин тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1975. – 256 с. 3. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний систем турбоагрегат-фундамент. – К.: Наукова думка, 1991. – 232 с. 4. Красніков С.В. Моделювання та аналіз вібраційних характеристик фундаменту енергоблоку потужністю 300 МВт // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2011. – № 52. – С.107-111. 5. Красніков С.В. Моделювання власних коливань фундаменту турбогенератору потужністю 200 МВт // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 58 (1031). – С. 88-92. 6. Красніков С.В. Методика дослідження та прогнозування працездатності фундаментів парових турбін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 57 (1099). – С. 133-137. 7. HITACHI. Turbine and Generator Foundation Design and construction & recommendation. – Tokyo: Japan, 2009. – 104 p. 8. Gu Ping. New dynamic participation factor for turbine generator foundation Practice Periodical on Structural Design and Construction. – VA.: American Society of Civil Engineers, 2009. – № 15 (1). – P. 54–62. 9. Adhhikari Sukanta. Turbo-Generator Foundation // Structural Engineering Forum of India. – New Delhi: SEFI, 2010. – P. 1-19. 10. Chowdhury Indrajit, Dasgupta P. Shambhu Dynamics of Structure and foundation a unified approach. – Leiden: CRC Press, 2009. – 616 p.

**Bibliography (transliterated):** 1. Runov B.T. Issledovanie i ustranenie vibracii parovyh turboagregatov. Moscow: Energoizdat, 1982. 352 Print. 2. Abashidze A.I., Sapozhnikov F.V., Kazandzhyan A.T. Fundamenty mashin teplovyh elektrostancij. Moscow: Energiya, 1975. 256 Print. 3. Shul'zhenko N.G., Vorob'ev Yu.S. Chislennyj analiz kolebanij sistem turboagregat-fundament. Kyiv: Naukova dumka, 1991. 232 Print. 4. Krasnikov S.V. Modelyuvannya ta analiz vibracijnykh kharakterystyk fundamentu enerhobloku potuzhnisty 300 MWt. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Dynamika i micnist' mashyn. Kharkiv: NTU «KhPI», 2011. № 52. 107-111 Print. 5. Krasnikov S.V. Modelyuvannya vlasnykh kolyvan' fundamentu turboheneratoru potuzhnisty 200 MWt. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Dynamika i micnist' mashyn. Kharkiv: NTU «KhPI», 2013. № 58 (1031). 88-92 Print. 6. Krasnikov S.V. Metodyka doslidzhennya ta prohnozuvannya pracezdatnosti fundamentiv parovykh turbin. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Dynamika i micnist' mashyn. Kharkiv: NTU «KhPI», 2014. № 57 (1099). 133-137 Print. 7. HITACHI. Turbine and Generator Foundation Design and construction & recommendation. Tokyo: Japan, 2009. 104 Print. 8. Gu Ping. New dynamic participation factor for turbine generator foundation Practice Periodical on Structural Design and Construction. VA.: American Society of Civil Engineers, 2009. № 15 (1). 54-62 Print. 9. Adhhikari Sukanta. Turbo-Generator Foundation // Structural Engineering Forum of India. New Delhi: SEFI, 2010. 1-19 Print. 10. Chowdhury Indrajit, Dasgupta P. Shambhu Dynamics of Structure and foundation a unified approach. Leiden: CRC Press, 2009. 616 Print.

*Поступила (received) 19.11.2014*