

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 меншій мірі зменшенням ресурсу фундаментів та підвищення 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 електростанцій [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.

© С. В. Красніков, 2014

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 скінчено-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].

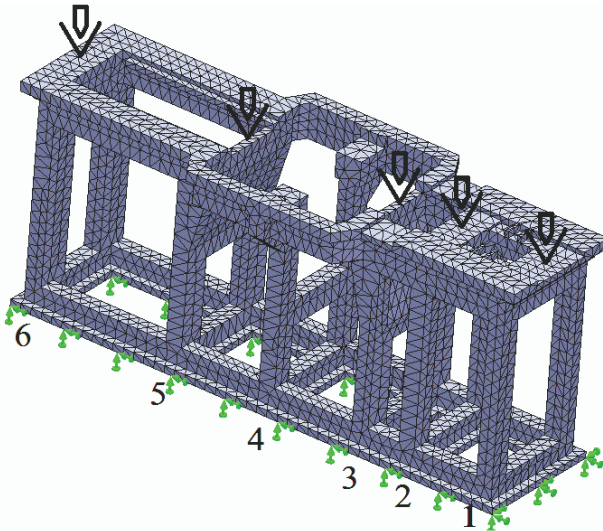


Рисунок 1 – Скінчено-елементна модель

Основною 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 похиб-

ка 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 B, B 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 статті [6]. Результати наведено на рис. 2. Точкою та лінією Z позначено поточний стан конструкції.

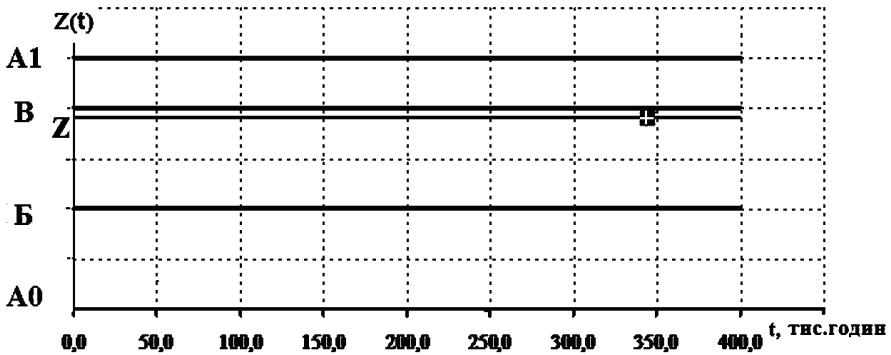


Рисунок 2 – Визначення границь та поточного стану фундаменту

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).

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.

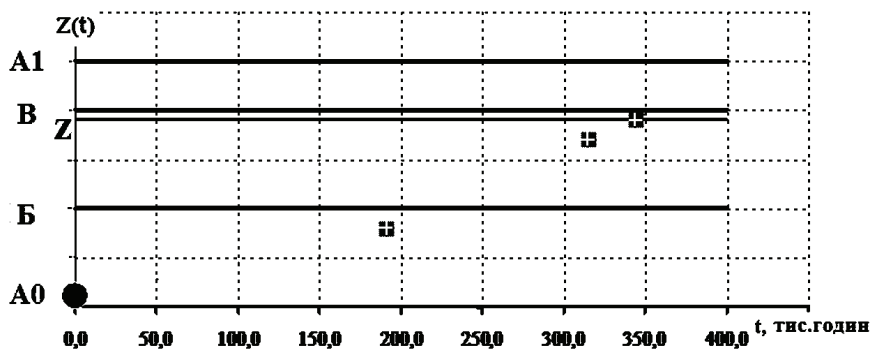


Рисунок 3 – Границі та точки робочого стану фундаменту

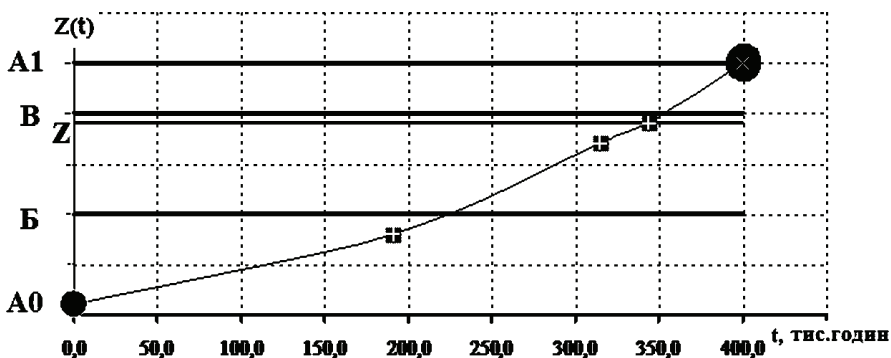


Рисунок 4 – Крива робочого стану фундаменту

Висновки. За розробленими методиками проведено розрахункові 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 «ХП». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 2011. – № 52. – С.107-111. 5. Красніков С.В. Моделювання власних коливань фундаменту турбогенератору потужністю 200 МВт // Вісник НТУ «ХП». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 58 (1031). – С. 88-92. 6. Красніков С.В. Методика дослідження та прогнозування працездатності фундаментів парових турбін // Вісник

НТУ «ХП». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 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. Adhikari 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 turbogeneratoru 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 prohnouzuvannya 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. Adhikari 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

УДК 519:539:534

Модель прогнозування працездатності фундаменту парової турбіни / С.В. Красніков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 58 (1100). – С. 39-43. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-9130.

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.

УДК 519:539:534

Модель прогнозирования работоспособности фундамента паровой турбины / С.В. Красніков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 58 (1100). – С. 39-43. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-9130.

Рассматривается оценка вибрационного состояния и прогнозирования рабочего состояния фундаментов паровых турбин за весь период эксплуатации. На основе ранее разработанных методик проведен комплекс расчетных и экспериментальных исследований фундамента паровой турбины работающего энергоблока электростанции. На основе полученных данных проведена оценка рабочего состояния в отдельные периоды эксплуатации, текущего рабочего состояния и

окончательного состояния. Построена кривая состояния конструкции. Получены остаточный и общий ресурсы фундамента. Сделаны рекомендации по дальнейшей эксплуатации фундамента паровой турбины.

Ключевые слова: работоспособность, вибрационное состояние, вибрация, фундамент, паровая турбина.

Model of capacity for work of steam turbine foundation / S.V. Krasnikov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Dynamics and strength of machines. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 58 (1100). – P. 39-43. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2078-9130.

Considered the estimation and prediction of vibration condition of the working condition of the foundations for the entire period of operation. The bases are considered only as supporting structures steam turbines. A range of theoretical and experimental studies. Studies conducted on the basis of previously developed methodics. Object of research is the foundation of the steam turbine unit employed domestic power. Calculated study based on the finite element method. For experimental studies used diagnostic system. This diagnostic system specifically designed for dynamic measurements of vibration in a wide frequency range. Based on these data, the following: assessment of working conditions in the individual periods of operation, assessment of the current condition and forecasting the final state of the turbine foundation. Powered condition curve design. The resulting residual shared resource and the foundation of the steam turbine. Make recommendations for the future operation of the foundation. The results used in practice for a steam turbine unit of national power.

Key words: performance, vibration condition, vibration, foundation, steam turbine.