

УДК 519:539:534

С.В. КРАСНІКОВ

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ПРОДОЛЬНО АРМОВАНОГО ЕЛЕМЕНТУ ФУНДАМЕНТУ

Розглядається міцність фундаментів парових турбін. Наведено результати дослідження міцності типового елемента залізобетонного фундаменту. Розглядаються різні варіанти ушкодження арматури залізобетонного елемента. Побудовано дві серії моделей типового елемента. Ушкодження арматури розглядається з двох напрямків – кількісне та якісне. Проведено розрахунки та аналіз параметрів міцності. Було розраховано напруги та переміщення. Більш докладно зроблено аналіз напруг типового елемента. Зроблено висновки з найбільш суттєвих схем ушкоджень арматури. Для моделювання та розрахунків було використано метод скінчених елементів.

Ключові слова: пружність, напруги, деформації, переміщення, міцність, фундамент, парова турбіна.

Вступ. Фундаменти енергоблоків електричних станцій виготовляються з різних матеріалів. Проте більшість фундаментів енергоблоків середньої та великої потужності виготовляються з залізобетону. Залізобетонні фундаменти поділяють на рамні та стінові. Кожен з них має балкові елементи, серед яких найбільш поширені елементи з прямокутним та квадратним перетином. Фундамент енергоблоку має найбільший ресурс та знаходиться в експлуатації в той час, коли інше устаткування енергоблоку вже повністю або частково замінено новим. Тривалий час експлуатації фундаменту призводить до необоротних змін його фізичних характеристик. Серед них виділяють різні групи пошкоджень, серед яких найбільш впливовими є наступні: тріщина утворення бетону, корозія та інші пошкодження арматури, втрата контакту між арматурою та бетоном. Ці пошкодження є типовими та в зв'язку з тим, що більшість енергоблоків в Європі та світі знаходиться в експлуатації не менше 30 років, є широко розповсюдженими [1, 2]. Тому є актуальним проведення досліджень міцності елементів фундаменту з різними типами пошкоджень.

Мета роботи. Проведення досліджень міцності типових елементів залізобетонного фундаменту енергоблоку електростанції з різним ушкодженням арматури.

Об'єктом дослідження є продольно армована залізобетонна балка з квадратним перетином. Предметом дослідження є чутливість характеристик міцності залізобетонної балки до різних схем ушкодження арматури.

Математична та розрахункова модель. Для моделювання та розрахунків було використано метод скінчених елементів. Згідно цього методу рівняння для дослідження міцності є наступний запис [2]:

$$[K] \{q\} = \{R\}, \quad (1)$$

де $[K]$ – матриця жорсткості, $\{q\}$ – вектор переміщень, $\{R\}$ – вектор навантажень.

Типовим елементом кожного залізобетонного фундаменту парової турбіни є балка [1, 3 - 8]. Вона представляє собою композит з арматури та наповнювача. Наповнювач для розуміння далі буде називатися також просто бетоном. Найбільш поширеним перетином балки є прямокутник з розміром однієї сторони 1 м та іншої від 1 м до 4 м. Довжина балки в залежності від конструкції фундаменту та місця має розмір від 2 м до 15 м. Для дослідження було обрано балку з квадратним перетином 1 x 1 м та довжиною 3 м.

Було побудовано два типу моделей: бетонний елемент (рис. 1); залізобетонний елемент (рис. 2). Параметри моделей наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри скінчено-елементних моделей

№	Кількість СЕ	Кількість вузлів	Кількість ст. волі	Максимальні напруги, Па	Абсолютна різниця	Відносна різниця, %	Максимальні переміщення, м
1	3282	774	2199	1017,0	17,0	1,70	9,95E-8
2	7218	1606	4575	1021,2	21,2	2,12	9,96E-8
3	84818	14861	41856	1067,0	67,0	6,7	9,97E-8
4	65563	11606	32325	1029,4	29,4	2,94	9,98E-8

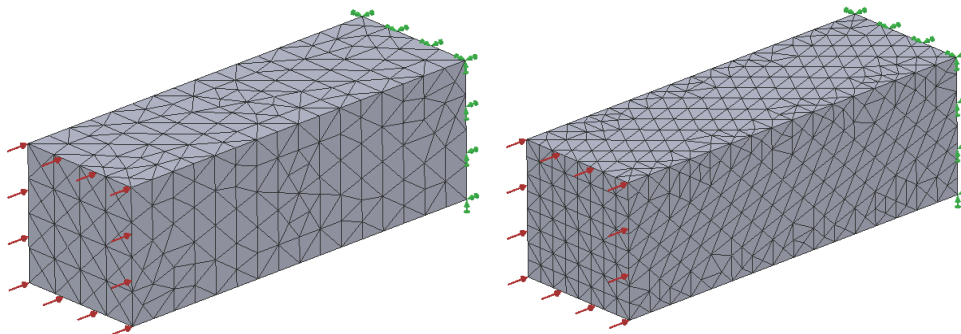


Рисунок 1 – Моделі № 1 та № 2 для бетонного елемента

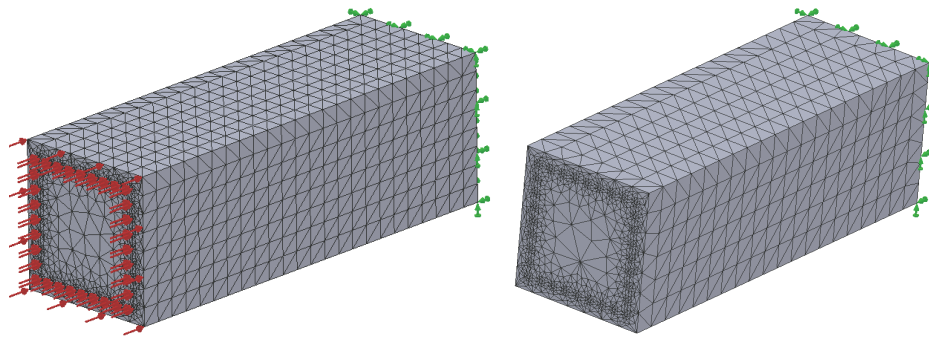


Рисунок 2 – Моделі № 3 та № 4 для залізобетонного елемента

Граничні умови моделей – жорстке кріплення з одного торця. З протилежного торця прикладено навантаження – рівномірний тиск 1 кПа.

В залізобетонних елементах (модель 3 та 4) арматура розподілена рівномірно по контуру перетину на відстані осей симетрії 100 мм кожна від кожної та від зовнішнього краю перетину балки. В таблиці 1 наведені результати розрахунків міцності на моделях лише з бетонними елементами. В моделях 3 та 4 арматура мала фізичні характеристики не сталі, а бетону. Порівняння напруг проводилось з результатом обчислення балки згідно теорії опору матеріалів, а саме з напругою 1 кПа. Для проведення дослідження було обрано модель 4.

Розрахункові дослідження. В якості ушкодження армування залізобетонного блоку розглядалися кінцеві варіанти, а саме – виключення симетричних груп арматур. Опис, вигляд розрахункових моделей та результати досліджень та наведено у таблиці 2 та на рис. 3 – 5.

З табл. 2 бачимо, що напруги та переміщення при зменшенні армування збільшуються, що є закономірним. Найбільші збільшення параметрів напружено-деформованого стану (НДС) у моделі 4_2, найменші у моделі 4_4. Це є закономірним, тому що модель 4_4 має найменші пошкодження армування, а модель 4_2 одні з найбільших. Серед моделей з однаковим ушкодженням армування згідно таблиці 2 бачимо, що у моделей 4_3 та 4_5 напруги та переміщення менші чим у моделей 4_2, 4_1 відповідно. Це свідчить про те, що кутове пошкодження арматури є менш суттєвим ніж некутове.

З рис. 3–5 бачимо, що арматура має значно більші напруги ніж бетон. Максимальні напруги має арматура біля жорсткого кріплення. Бетон має збільшені напруги біля арматури та жорсткого кріплення. Розподіл переміщень для всіх варіантів ушкодження арматури є рівномірним. Максимальні значення переміщень має торець з навантаженням, переміщення плавно зменшуються до торця з жорстким кріпленням.

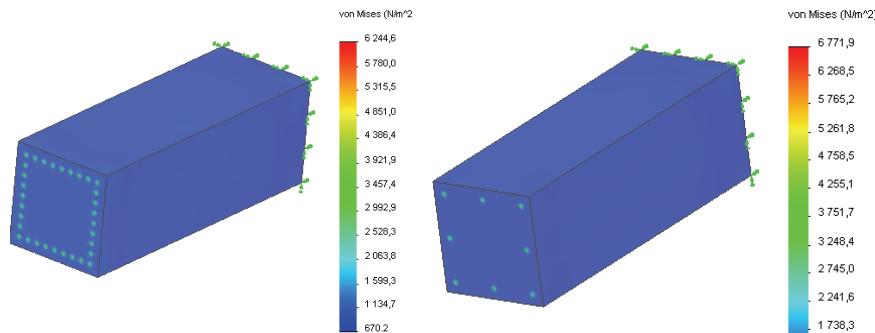


Рисунок 3 – Розподіл напруг для моделей 4 та 4_1

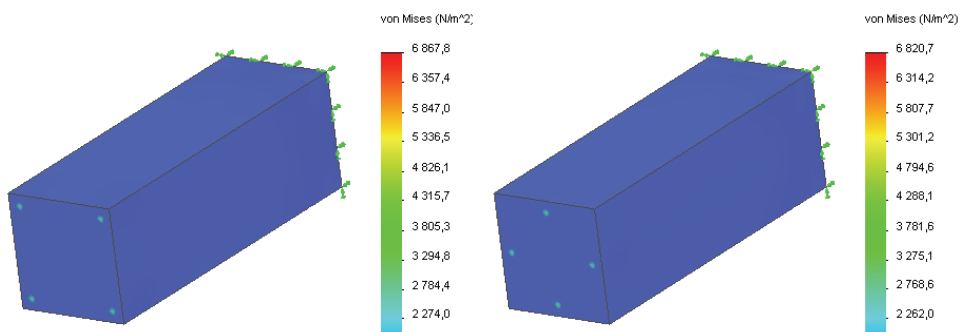


Рисунок 4 – Розподіл напруг для моделей 4_2 та 4_3

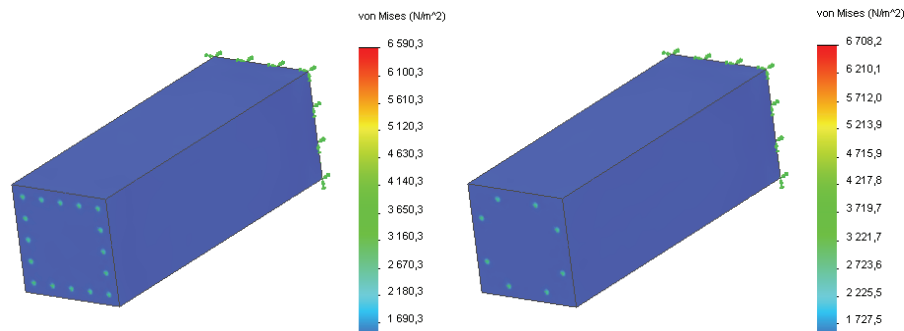


Рисунок 5 – Розподіл напруг для моделей 4_4 та 4_5

Таблиця 2 – Результати дослідження НДС

Модель	Кількість арматури	Номер рис.	Напруга, МПа	Різниця, %	Переміщення, м	Різниця, %
4	32	7.3	6244,6	0	9,08E-08	0
4 1	8	7.3	6771,9	8,44	9,73E-08	7,16
4 2	4	7.4	6867,8	9,98	9,85E-08	8,48
4 3	4	7.4	6820,7	9,23	9,86E-08	8,59
4 4	16	7.5	6590,3	5,54	9,50E-08	4,63
4 5	8	7.5	6708,2	7,42	9,72E-08	7,05

Висновки. Побудовано серію моделей типового залізобетонного елемента фундаменту з різним ушкодженням арматури. Більші симетричні ушкодження арматури призводять до більших напруг. При однаковій кількості неушкоджених арматур вуглове пошкодження арматури призводить до меншого підвищення напруг ніж неуглове.

Список літератури: 1. Абашидзе А.И. Фундаменты машин тепловых электростанций / А. И. Абашидзе, Ф. В. Сапожников, А. Т. Казанджян. – М.: Энергия, 1975. – 256 с. 2. Шульженко Н.Г. Численный анализ колебаний систем турбоагрегат-фундамент / Н. Г. Шульженко, Ю. С. Воробьев. – К.: Наукова думка, 1991. – 232 с. 3. Жовдак В.О. Моделирование фундамента для многокорпусного турбоагрегата / В. О. Жовдак, С. В. Красников, А. В. Торьяник, О. С. Степченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2008. – № 36. – С. 81-88. 4. Красников С.В. Моделирование напряжено-деформованого стану фундаменту турбоагрегату 200 МВт / С. В. Красников // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2011. – № 63. – С. 54-59. 5. HITACHI. Turbine and Generator Foundation Design and construction & recommendation. – Tokyo: Japan, 2009. – 104 p. 6. Adhhikari Sukanta Turbo-Generator Foundation / Sukanta Adhhikari // Structural Engineering Forum of India. – New Delhi: SEFI, 2010. – P. 1-19. 7. Chowdhury Indrajit Dynamics of Structure and foundation a unified approach / Indrajit Chowdhury, P. Shambhu Dasguptu. – Leiden: CRC Press, 2009. – 616 p. 8. Gu Ping New dynamic participation factor for turbine generator foundation Practice Periodical on Structural Design and Construction / Ping Gu // VA.: American Society of Civil Engineers. – 2009. – № 15(1). – P. 54–62. 9. Zhiqiang Hu A Seismic Analysis on Steam Turbine Considering Turbine and Foundation Interaction / Hu Zhiqiang, Wang Wei, Jiang Puning, Huang Qinghua, Wang Jianhua, Xu Sihua, He Jin, Xiao Lei // ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition Volume 1B. – Düsseldorf: International Gas Turbine Institute, 2014. – PP. V01BT27A041, 8 pages. 10. Turnbull Alan Corrosion pitting and

environmentally assisted small crack growth / Alan Turnbull // Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences. – London: The Royal Society, 2014. – PP. 20140254, 19 pages.

Bibliography (transliterated): 1. Abashidze A.I. Fundamenty mashin teplovykh elektrostancij. A. I. Abashidze, F. V. Sapozhnikov, A. T. Kazandzhyan. Moscow: Energiya, 1975. 256 Print. 2. Shul'zhenko N.G. Chislennyj analiz kolebanij sistem turboagregat-fundament. N. G. Shul'zhenko, Yu. S. Vorob'ev. Kyiv: Naukova dumka, 1991. 232 Print. 3. Zhovdak V.O. Modelirovanie fundamenta dlya mnogokorpusnogo turboagregata. V. O. Zhovdak, S. V. Krasnikov, A. V. Toryanik, O. S. Stepchenko. Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI", 2008. No 36. 81-88 Print. 4. Krasnikov S.V. Modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu fundamentu turboagregatu 200 MVt. S. V. Krasnikov. Visnyk NTU "KhPI". Kharkiv: NTU "KhPI", 2011. No 63. 54-59 Print. 5. HITACHI. Turbine and Generator Foundation Design and construction & recommendation. Tokyo: Japan, 2009. 104 Print. 6. Adhhikari Sukanta Turbo-Generator Foundation. Sukanta Adhhikari. Structural Engineering Forum of India. New Delhi: SEFI, 2010. 1-19 Print. 7. Chowdhury Indrajit Dynamics of Structure and foundation a unified approach. Indrajit Chowdhury, P. Shambhu Dasguptu. Leiden: CRC Press, 2009. 616 Print. 8. Gu Ping New dynamic participation factor for turbine generator foundation Practice Periodical on Structural Design and Construction. Ping Gu. VA.: American Society of Civil Engineers. 2009. No 15(1). 54–62 Print. 9. Zhiqiang Hu A Seismic Analysis on Steam Turbine Considering Turbine and Foundation Interaction. Hu Zhiqiang, Wang Wei, Jiang Puning, Huang Qinghua, Wang Jianhua, Xu Sihua, He Jin, Xiao Lei. ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition Volume 1B. Düsseldorf: International Gas Turbine Institute, 2014. V01BT27A041, 8 Print. 10. Turnbull Alan Corrosion pitting and environmentally assisted small crack growth. Alan Turnbull. Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences. London: The Royal Society, 2014. 20140254, 19 Print.

Надійшло (received) 13.05.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Красніков Сергій Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет «ХПІ», кафедра Динаміка та міцність машин, тел.: (057) 707-68-79; e-mail: vsevavr@yandex.ru

Krasnikov Serhij Vasylovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), senior staff Scientist, National Technical University «KhPI», Department of Dynamics and Strength of Machines, tel.: (057) 707-68-79; e-mail: vsevavr@yandex.ru