

ВЕРИФІКАЦІЯ ЧИСЕЛЬНОЇ МОДЕЛІ БУДІВЕЛЬ АЕС ПРИ ДИНАМІЧНОМУ АНАЛІЗІ СИСТЕМИ "ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ - СПОРУДА"

Седін В.Л., Загільський В.А.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
м. Дніпропетровськ, Україна

АНОТАЦІЯ: Проведено розробку чисельної моделі на прикладі будівлі в галузі АЕС в системі "основа – фундамент – споруда". Показані основні етапи верифікації розрахункової моделі за допомогою характеристичних частот отриманих в результаті чисельних та натурних досліджень.

АННОТАЦИЯ: Проведена разработка численной модели на примере здания в области АЭС в системе "основание – фундамент – сооружение". Показаны основные этапы верификации расчетной модели с помощью характеристических частот полученных в результате численных и натурных исследований.

ABSTRACT: The development of a numerical model on the example of a building in the field of nuclear power in the "ground – foundation – building" system is spended. The basic steps of the verification computational model using characteristic frequencies obtained as a result of numerical and field studies are shown.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: верифікація, спектр Фур'є, модальний аналіз.

ВСТУП

Жорсткі вимоги з безпеки атомних електростанцій повинні виконуватися в будь-яких умовах, що визначається надійністю роботи систем та елементів. Тому, очевидно, що до сейсмостійкості АЕС, як до об'єктів надзвичайно високої потенційної небезпеки, застосовуються суворі вимоги щодо забезпечення міцності будівельних конструкцій, а також недопу-

щення виходу з ладу і порушень функціонування технологічних систем важливих для безпеки.

Згідно з регламентованими міжнародними та національними нормами [2, 3, 5 - 8], при розрахунку кінематичних параметрів будівлі (переміщення, швидкості, прискорення), а також оцінці сейсмостійкості будівель і споруд АЕС необхідно враховувати взаємодію системи "основа – фундамент – споруда", при цьому слід наводити опис та обґрунтувати застосування методів розрахунку.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Застосування коректних чисельних розрахункових моделей при аналізі сейсмостійкості та обчислення кінематичних параметрів будівель і споруд АЕС є основним із факторів, що впливає на адекватність отриманих результатів.

В рамках даної роботи проводилась верифікація розрахункової моделі на прикладі будівлі галузі АЕС. Експериментальні дослідження даної будівлі представлені в [1]. Частина результатів натурної оцінки взаємодії основи і споруди при ударному впливі на ґрунт представлені в даній роботі.

Об'ємно-планувальне і конструктивне рішення будівлі

Будівля ВКС-2 - двоповерхова каркасна споруда. Габарити будівлі – 18000 x 24000 x 8700(h) мм. Конструкції каркаса вирішені в збірних залізобетонних елементах.

Просторова стійкість будівлі забезпечується системою вертикальних устоїв, колон, об'єднаних горизонтальними дисками перекриття і покриття.

Фундаменти будівлі – монолітна залізобетонна плита товщиною 500 мм. Плита виконана з бетону класу В15 з армуванням сітками зі стрижнів класу АІІІ.

Інженерно-геологічні умови

Інженерно-геологічний розріз проммайданчика, на якому розташована будівля воднево-кисневої станції вивчений до глибини 16,5 м та представлений насипними дрібними пісками, четвертинними алювіальними пісками дрібними різними по щільності складання. Детальна літологічна колонка проммайданчика представлена в табл. 1.

Літологічна колонка

№ шару	Підосва шару, м.		потуж шару, м	Описання ґрунту
	Глиби-на	абс. відм., м		
1Б2	1,8	20,53	1,8	Насипний шар - пісок дрібний, середньої щільності, вологий
1Б1	2,3	20,03	0,5	Насипний шар - пісок дрібний, пухкий, вологий
4Б	6,2	16,13	3,9	Пісок дрібний жовтувато-коричневий, середньої щільності
4А	9,5	12,83	3,3	Пісок дрібний жовтувато-коричневий, пухкий, насичений водою
4Б	10,6	11,43	1,1	Пісок дрібний жовтувато-коричневий, середньої щільності, насичений водою
4В	20,0	2,33	9,4	Пісок дрібний жовтувато-коричневий, щільний, насичений водою

Чисельна модель взаємодії системи "основа – фундамент – споруда"

Чисельне моделювання виконано з використанням спеціалізованого програмного комплексу Ansys. Чисельна модель включає в себе об'ємний ґрунтовий масив, будівлю ВКС-2 та елементи фундаменту (рис. 1) конструктивні характеристики яких були представлені раніше. Розміри ґрунтового масиву моделювалися за умови віддалення кордонів на 3 – 4 максимальних розміри фундаментної плити [4] та за умов неможливості повертання відбитих від границь хвиль в розрахункову зону. Для вивчення процесу коливачь ґрунтового масиву та дослідження процесів взаємодії основи та споруди необхідно використовувати щільну сітку SE.

При розробці скінчено-елементної моделі, для спрощення роботи з моделлю, розробка була поділена на наступні етапи:

- 1) розробка розрахункової моделі ґрунтового масиву та верифікація даної моделі;
- 2) розробка розрахункової моделі будівлі ВКС-2 та об'єднання з моделлю ґрунтового масиву. Верифікація моделі будівлі.

Розробка розрахункової моделі ґрунтового масиву та верифікація даної моделі

Ґрунтовий масив складається з 5 різних шарів ґрунту (рис. 1). Типи ґрунтів, які використовувались в моделі представлені в табл. 1.

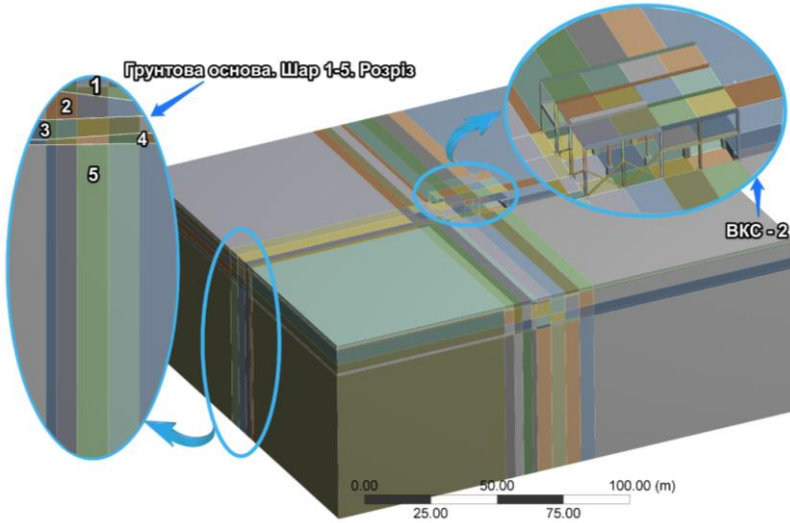
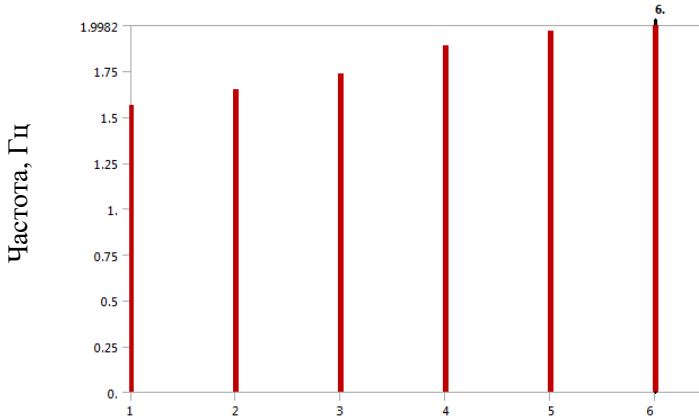


Рис. 1. Модель взаємодії системи "основа – фундамент – споруда"



Форма коливань

Рис. 2. Власні форми коливань ґрунтового масиву.
Показані перші 6 форм коливань

Для верифікації скінчено-елементної моделі ґрунтового масиву, був зроблений порівняльний аналіз характеристичної частоти масиву отриманої за даними чисельного та натурного експерименту.

Визначення власної частоти скінчено-елементного ґрунтового масиву було здійснено за допомогою модального аналізу розрахункової схеми, який визначає власні коливання конструкції. Згідно з чисельними розрахунками характеристична частота ґрунтового масиву складає 1,56 Гц (рис. 2). Для визначення власної частоти ґрунтового масиву за даними натурного експерименту, була зроблена вибірка з записаних впливів ділянок вільної поверхні (рис. 3), де не виникало ніяких збурень (фонівий шум).

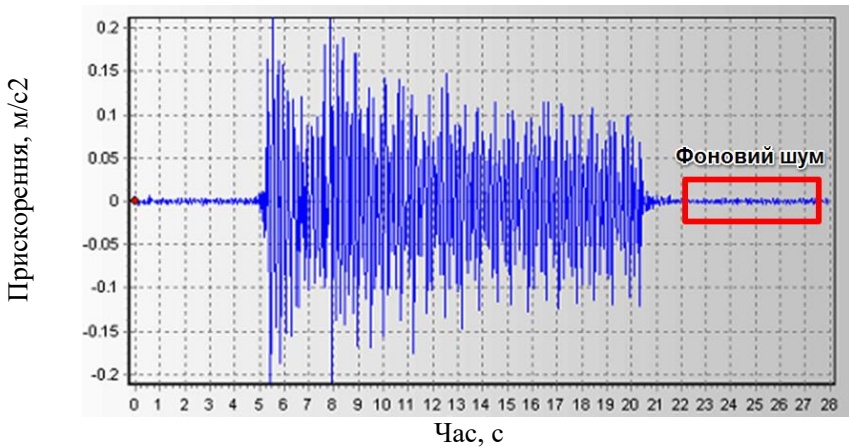


Рис. 3. Запис імітації динамічного впливу, що містить фонівий шум

Складання спектра характеристичних частот ґрунтового масиву виконувалось за допомогою перетворення Фур'є, яке є основним аналітичним інструментом для вирішення різних завдань в обробці сигналу, оскільки ряд Фур'є дає можливість описувати будь-яку періодичну функцію з використанням часової або частотної області.

Для ослаблення регулярних перешкод і зниження рівня випадкових перешкод був використаний метод групування, який представляє собою усереднення значень спектрів Фур'є. Після необхідних перетворень був побудований усереднений спектр Фур'є в діапазоні досліджуваних частот, який відповідає записаним впливам фонового шуму на вільній поверхні ґрунтового масиву.

Аналіз побудованого спектру Фур'є показує, що характеристична частота ґрунтового масиву лежить в області частот між 1,5 Гц – 1,75 Гц,

що узгоджується з чисельним дослідженням, де власна частота дорівнює 1,56 Гц.

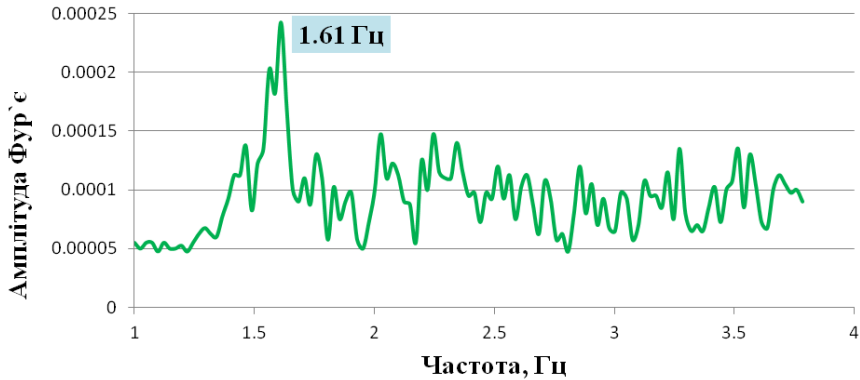


Рис. 4. Спектр Фур'є впливів фонового шуму на вільній поверхні ґрунтового масиву

Розробка та верифікація розрахункової моделі будівлі ВКС-2

Для верифікації скінчено-елементної моделі будівлі ВКС-2, був зроблений порівняльний аналіз власних частот будівлі отриманих за даними чисельного та натурного експерименту.

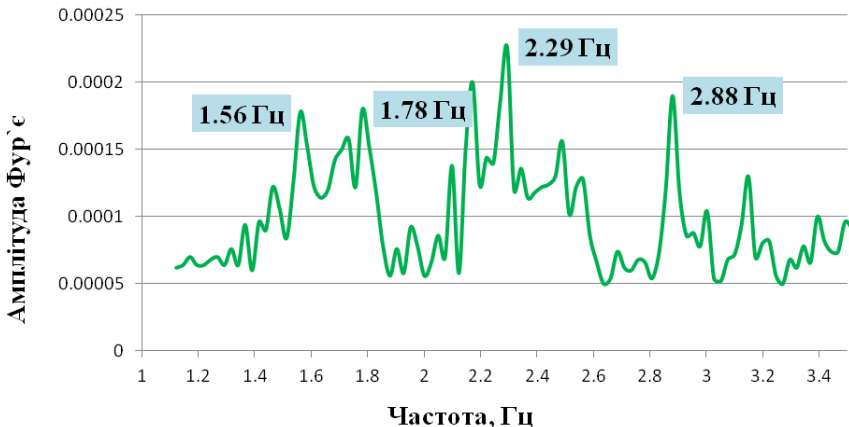


Рис. 5. Спектр Фур'є впливів фонового шуму на відмітках будівлі

Методика отримання характеристичних частот будівлі аналогічна методиці верифікації моделі ґрунтового масиву, яка була представлена

раніше. На рис. 5 представлений усереднений спектр Фур'є в діапазоні досліджуваних частот, який відповідає записаним впливам фонового шуму на відмітках будівлі.

Аналіз побудованого спектру Фур'є впливів фонового шуму на відмітках будівлі свідчить, що перший пік згідно проведеного верифікаційного аналізу моделі ґрунтового масиву відноситься до характеристичної частоти ґрунтового середовища, тоді як три інші піки являють собою перші три власні частоти будівлі ВКС-2, що розглядається.

За допомогою модального аналізу в розрахунковому комплексі Ansys були отримані власні частоти будівлі ВКС-2. Порівняння характеристичних частот будівлі ВКС-2 отриманих за результатами натурального експерименту та чисельного дослідження представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння власних частот головних форм коливань

Тип дослідження	Частота (Гц) характеристичних форм коливань		
	Форма 1	Форма 2	Форма 3
Натурний експеримент	1,78	2,29	2,88
Чисельне дослідження. Розрахунковий комплекс Ansys	1,75	2,15	2,70

Аналіз отриманих результатів свідчить про задовільну збіжність натурних та чисельних досліджень. Похибка не перевищує 7%.

ВИСНОВКИ

У ході дослідження була проведена верифікація чисельної моделі ВКС-2. В якості порівняльних даних були використані модальні частоти будівлі ВКС-2 отримані за результатами натурних та чисельних досліджень. В даній роботі була реалізована методика знаходження власних частот будівлі та ґрунтового масиву за допомогою складання спектра характеристичних частот з використанням перетворення Фур'є, яке є основним аналітичним інструментом для вирішення різноманітних завдань в обробці сигналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Седин В.Л. Натурная оценка взаимодействия основания и сооружения при ударном воздействии на грунт / В.Л. Седин., Е.А. Бауск, В.А. Загильский. // Строительство, материаловедение, машиностроение: сборн. науч. трудов. - Вып. 85 (2015). – С. 62-67.

2. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1–12:2014. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - IV, 110 с. – (Будівельні норми України).
3. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности АС с реакторами типа ВВЭР: НП-006-98 (ПНАЭ Г-01-036-95). – [Действует с 1995-08-01]. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 510 с.
4. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – К.: Сталь, 2002. – 600 с.
5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 5 Foundations, retaining structures and geotechnical aspects EN 1998-5:2004.
6. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 6: Towers, masts and chimneys EN 1998-6:2005.
7. Safety Guides NS-G-1.6 / International atomic energy agency, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants. – Vienna, 2003.
8. Safety Guides NS-G-3.6. International atomic energy agency, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants. – Vienna, 2004.

REFERENCES

1. Sedin V.L., Bausk E.A., Zagilsky V.A. Full-scale assessment of the soil structure interaction under force impact on soil. Collection of scientific works of construction, materials science, mechanical engineering. Vol. 85 (2015). - p.62-67.
2. Construction in seismic regions of Ukraine: DBN V.1.1-12: 2014. – [Valid from 2014-10-01]. – Kyiv, 2014 - 110 p.
3. Requirements for the content of the report on nuclear safety analysis with VVER: NP-006-98 (PNAE G-01-036-95). –[Valid from 1995-08-01]. - Moscow: Energoatomisdat, 1998. - 510 p.
4. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Computational models of structures and the possibility of their analysis. – К.: Publishing House of the "Steel", 2002. - 600 p.
5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part 5 Foundations, retaining structures and geotechnical aspects EN 1998-5:2004.
6. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 6: Towers, masts and chimneys EN 1998-6:2005.
7. Safety Guides NS-G-1.6. International atomic energy agency, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants. – Vienna, 2003.
8. Safety Guides NS-G-3.6. International atomic energy agency, Geotechnical Aspects of Site Evaluation and Foundations for Nuclear Power Plants. – Vienna, 2004.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2016 р.