

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА
ТА АРХІТЕКТУРИ"



ЗАГІЛЬСЬКИЙ ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 624.15:624.042.7

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ АНАЛІЗУ
ДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ "ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ –
СПОРУДА" ДЛЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

05.23.02 – основи і фундаменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" (ДВНЗ ПДАБА) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Сєдін Володимир Леонідович,
Державний вищий навчальний заклад
"Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури",
завідувач кафедри основ і фундаментів.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Винников Юрій Леонідович**, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, професор кафедри видобування нафти і газу та геотехніки;

доктор технічних наук, доцент **Сахаров Володимир Олександрович**, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри основ і фундаментів.

Захист відбудеться 29 грудня 2016 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.01 при Державному вищому навчальному закладі "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" (49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а).

Автореферат розісланий 28 листопада 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Т. С. Кравчуновська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Атомні електростанції (АЕС) є ключовими компонентами енергетичної індустрії України, оскільки вони виробляють значну частину загальнонаціонального обсягу електроенергії. Імовірність надзвичайно великих збитків від потенційної аварії природного або техногенного походження на об'єктах, що мають потенційну екологічну небезпеку, обумовлює підвищену відповідальність до проектування та експлуатації будівель і споруд АЕС. До таких загроз безпосередньо належать сейсмічні явища, що можуть призводити до екологічних катастроф зі значними людськими жертвами.

Останнім часом сейсмічність території України була уточнена, що вплинуло на її загальне підвищення. Згідно з регламентованими міжнародними та галузевими нормами встановлено, що при проектуванні та обстеженні будівель і споруд АЕС необхідно враховувати особливі впливи, зокрема, потрібен розрахунок сейсмостійкості й обчислення поповерхових спектрів реакції. При проведенні розрахунків необхідно враховувати взаємодію елементів системи "основа – фундамент – споруда" (ОФС), при цьому слід наводити опис та обґрунтувати застосування методів розрахунку.

Таким чином, дослідження динамічної взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" для будівель і споруд АЕС, а також обґрунтування ідеалізованих методик на практиці є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, викладені в дисертації, виконані згідно з напрямом наукової роботи кафедри "Основи і фундаменти" ДВНЗ ПДАБА, відповідно до програм науково-дослідних робіт: "Удосконалення методів статичного та динамічного розрахунку напружено-деформованого стану системи "основа – фундамент – надфундаментна будівля" (№ держреєстрації 0113U006156, рівень участі дисертанта – виконавець), "Удосконалення методів розрахунку напружено-деформованого стану основ фундаментів будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах" (№ держреєстрації 0116U000776, рівень участі дисертанта – виконавець).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методу розрахунку взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" при сейсмічному впливі для будівель і споруд АЕС із плитним фундаментом, обґрунтування цього методу і розробка його алгоритму, виконання верифікації й обґрунтування способів моделювання ґрунтової основи при взаємодії з надземними конструкціями.

Сформульована мета дисертаційної роботи зумовила необхідність вирішення наступних задач:

- проаналізувати теоретичні та експериментальні роботи, міжнародні та вітчизняні нормативні документи з оцінки взаємодії елементів системи ОФС;
- провести повномасштабні польові дослідження взаємодії елементів системи ОФС при динамічному впливі й отримати записи динамічної реакції у контрольних точках на поверхні ґрунту та на відмітках будівлі;

– удосконалити метод розрахунку взаємодії елементів системи ОФС при сейсмічному впливі для будівель і споруд атомних електростанцій із плитним фундаментом;

– провести дослідження системи ОФС при сейсмічному впливі із використанням удосконаленого методу розрахунку взаємодії ґрунтової основи з надземними конструкціями споруди;

– виконати чисельні дослідження системи ОФС при сейсмічному впливі з використанням прямого методу взаємодії (моделювання ґрунту об'ємними елементами);

– порівняти результати чисельних досліджень із даними натурного експерименту.

Об'єкт дослідження – процеси взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" при сейсмічному впливі.

Предмет дослідження – кінематичні характеристики (переміщення, швидкості, прискорення) системи "основа – фундамент – споруда".

Методи дослідження: аналіз існуючих методів розрахунку взаємодії елементів системи ОФС; метод скінченних елементів (МСЕ); верифікаційні розрахунки для перевірки точності програмних комплексів, що використовуються; польові експериментальні дослідження взаємодії ґрунтової основи і споруди при динамічному впливі з подальшими чисельними розрахунками кінематичних параметрів будівлі; математичне моделювання задач взаємодії елементів системи ОФС при дії сейсмічного впливу з використанням удосконаленого методу.

Наукова новизна одержаних результатів:

– одержано нові експериментальні дані амплітудних і частотних характеристик будівлі з плитним фундаментом в умовах повномасштабних польових досліджень взаємодії ґрунтової основи зі спорудою при періодичних навантаженнях;

– удосконалено метод розрахунку взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" при динамічному впливі з урахуванням в'язко-пружних властивостей ґрунтової основи; розроблено комбінований алгоритм аналітичних та числових розв'язків, що дозволяє підвищити ефективність обчислення поповерхових спектрів реакції жорстких масивних будівель із плитним фундаментом;

– одержав подальший розвиток метод визначення власних частот коливань споруд та ґрунту шляхом використання перетворення Фур'є записів мікросейсм, що дозволяє визначити залежності зміни амплітуд коливань досліджуваної конструкції від власних частот;

– вперше доведено, що використання удосконаленого методу розрахунку взаємодії ґрунтової основи і споруди дозволяє обчислити спектри реакції будівель в зонах розташування обладнання, що має суттєве значення для кваліфікації систем, важливих для безпеки енергоблоків АЕС.

Практичне значення одержаних результатів:

- обґрунтовано застосування удосконаленого методу розрахунку жорстких масивних будівель із плитним фундаментом на ґрунтовій основі, що дозволяє визначити сейсмічні параметри (поповерхові акселерограми та спектри реакції) при сейсмічному впливі;
- враховані при виконанні робіт із отримання поповерхових спектрів реакції та максимальних прискорень будівель і споруд Южно-Української АЕС, що містять обладнання систем, важливих для безпеки (СВБ);
- враховані при розрахунку сейсмічних параметрів та оцінці сейсмостійкості будівель і споруд, що містять устаткування СВБ енергоблоків №1, 2, 3, 4 Запорізької АЕС;
- враховані при визначенні максимальних сейсмічних навантажень, за яких зберігається сейсмостійкість елементів трубопроводів та устаткування будівель реакторних відділень № 1, 2 Запорізької АЕС з урахуванням їх фактичного технічного стану;
- впроваджені в навчальний процес ДВНЗ ПДАБА при викладанні спецкурсу на випускаючій кафедрі та виконанні магістерських робіт зі спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія".

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в:

- числовому моделюванні та аналізі взаємодії ґрунтової основи з залізобетонними конструкціями при статичних навантаженнях у розрахунковому комплексі Robot structural analysis professional [1];
- визначенні сейсмостійкості будівель підвищеної категорії відповідальності з урахуванням сейсмічних умов майданчика та взаємодії з ґрунтовою основою [2, 3];
- оцінюванні напружено-деформованого стану (НДС) будівель і споруд атомних електростанцій із використанням удосконаленого методу аналізу системи "основа – фундамент – споруда" при сейсмічному впливі [4, 5];
- проведенні експериментальних польових досліджень та обробці результатів натурної оцінки взаємодії ґрунтової основи і споруди при ударному впливі на ґрунт [6];
- обґрунтуванні основних теоретичних принципів моделювання ґрунтової основи при динамічному розрахунку системи ОФС [7, 10];
- розробці чисельної моделі та її верифікації за допомогою власних частот, отриманих у результаті чисельних і натурних досліджень [8].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались, обговорювались та одержали позитивну оцінку на наукових конференціях і семінарах: науково-практичній конференції молодих вчених "Новітні технології XXI сторіччя та проблеми екології" (м. Дніпропетровськ, 2013 р.), XII міжнародній студентській науковій конференції "Engineer of the 3rd Millenium" (м. Дніпропетровськ, 2013 р.); VII науковій конференції з міжнародною участю "Савиновські читання" (м. Санкт-Петербург, 2014 р.); науково-практичній конференції молодих вчених "Наука і техніка: перспективи

XXI століття" (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); міжнародній конференції "Проблеми геотехніки – 2015" під егідою міжнародного товариства з механіки ґрунтів та геотехніки (м. Київ, 2015 р.); семінарі "Будівництво будівель та споруд у сейсмічних районах України", що проходив у базовій організації Мінрегіону України з питань сейсмостійкого будівництва ДП "Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій" (м. Київ, 2015 р.); наукових семінарах кафедри основ і фундаментів ДВНЗ ПДАБА (2013-2016 рр.).

Публікації. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи опубліковані у 10 наукових працях, у тому числі у 8 статтях (7 – у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 1 – у зарубіжному виданні) і 2 тезах доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і шести додатків. Робота містить 20 таблиць і 58 рисунків. Загальний обсяг дисертації – 201 сторінка. Список використаних джерел містить 146 найменувань на 19 сторінках. Додатки наведено на 30 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача в наукові праці, які опубліковані в співавторстві, наведено відомості щодо апробації результатів дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу переважаючих процесів при взаємодії елементів системи ОФС та огляду існуючих методів розрахунку жорстких масивних будівель, зокрема АЕС, з ґрунтовою основою при динамічному впливі.

Жорсткі вимоги щодо безпеки АЕС повинні виконуватися для всіх передбачених нормативними документами розрахункових ситуацій, у тому числі й при сейсмічних впливах. Для цього при проектуванні й обстеженні будівель підвищеної категорії відповідальності необхідно забезпечити працездатність обладнання, що потребує вирішення низки специфічних задач. Однією з таких задач є взаємодія фундаменту з ґрунтовою основою. Врахування взаємодії елементів системи ОФС сприяє отриманню більш коректних результатів, що вкрай важливо для будівель і споруд АЕС з огляду на їх підвищену відповідальність.

Дослідженню проблеми взаємодії ґрунтової основи зі спорудою присвячені роботи В. А. Банаха, І. П. Бойка, Ю. Л. Винникова, М. П. Дубровського, К. В. Єгупова, Ю. І. Калюха, Ю. О. Кірічека, В. В. Кулябка, Ю. І. Немчинова, О. А. Савицького, А. М. Самедова, В. О. Сахарова, В. Л. Седіна, О. М. Трофимчука, З. Г. Тер-Мартиросяна, А. Г. Тяпкіна, В. Б. Швеця, Н. С. Швець та багатьох інших вчених.

Фундаментальні дослідження проблеми взаємодії елементів системи ОФС викладені в роботах Д. Д. Баркана, Дж. П. Вольфа, Дж. Газетаса,

М. Н. Гольдштейна, М. І. Горбунова-Посадова, Т. К. Датта, М. Л. Зоценка, В. О. Ілічова, Н. Н'юмарка, О. О. Савінова, Ж. П. Стюарта, К. Терцагі, А. М. Уздіна, М. М. Філоненка-Бородіча, В. А. Флоріна та інших.

Дослідженням сейсмічних впливів з точки зору геофізичних процесів присвячені роботи М. М. Довбніча, О. В. Кендзери та інших.

Експериментальні дослідження поведінки ґрунтової основи і споруди при динамічних впливах представлені в роботах Ю. Л. Винникова, С. І. Головка, В. О. Сахарова, С. Тайлилиоглу, Дж. Н. Фіппса.

Огляд методів динамічної взаємодії ґрунтової основи зі спорудами АЕС поданий у роботах А. Н. Бірбраєра, В. Б. Дубровського, А. П. Кірілова, Дж. П. Вольфа.

Загальні поняття, що стосуються деяких особливостей динамічної взаємодії будівель та споруд із ґрунтовою основою, описані в роботах М. Ф. Барштейна, Б. А. Гарагаша, Л. Р. Ставніцера.

Згідно з нормативними документами, при розрахунку поповерхових спектрів реакції будівель і споруд АЕС необхідно враховувати взаємодію елементів системи ОФС, при цьому слід проводити опис методів розрахунку та обґрунтовувати застосування цих методів.

За результатами вивчення й аналізу виконаних досліджень виявлено, що при аналізі динамічної взаємодії елементів системи ОФС застосовуються різні моделі ґрунтової основи: від спрощених (система "маса – пружина – демпфер") до складних, таких як тривимірні скінченно-елементні моделі. Підхід до моделювання ґрунту еквівалентними динамічними параметрами (коефіцієнти жорсткості та демпфування) простий у застосуванні та широко використовується інженерами на практиці. Моделювання ґрунту методом скінченних елементів (об'ємне ґрунтове середовище) являє собою складну задачу з обчислювальної точки зору та вимагає вирішення ряду специфічних задач.

У нормативних документах недостатньо відомостей для раціонального вибору методу розрахунку взаємодії ґрунтової основи та споруди при сейсмічному впливі для обчислення поповерхових спектрів реакції досліджуваної будівлі.

У **другому розділі** представлено удосконалений метод та теоретичні принципи аналізу взаємодії елементів системи ОФС при сейсмічному впливі. Представлені блок-схеми проведення розрахунків еквівалентних динамічних параметрів ґрунтової основи (коефіцієнти жорсткості та демпфування). Наведені процедури розробки та валідації динамічної моделі будівлі залежно від типу споруди, яка розглядається.

Згідно з нормативними документами, для будівель та споруд АЕС необхідно виконувати роботи з обстеження, оцінки технічного стану та перепризначення ресурсу будівельних конструкцій споруд, які містять системи, важливі для безпеки енергоблоків АЕС, що потребує вирішення ряду специфічних задач. Однією з таких задач є розрахунок поповерхових спектрів реакції будівель. Отримані поповерхові спектри реакції в подальшому

використовуються для підтвердження можливості технологічного обладнання виконувати свої функції при сейсмічному впливі (кваліфікація обладнання).

Особливістю обчислення поповерхових спектрів реакції будівель і споруд АЕС є те, що їх потрібно розраховувати у конкретних точках перекриттів, на яких розташовані системи, важливі для безпеки АЕС. Для отримання кінематичних параметрів будівель і споруд АЕС (поповерхові спектри реакції) із урахуванням взаємодії ґрунтової основи зі спорудою в більшості випадків використовуються два способи розрахунку.

Розрахунок споруди, яка представляється у вигляді стрижнів із зосередженими у вузлах масами (динамічна модель будівлі). В даному випадку моделювання ґрунтової основи відбувається за допомогою коефіцієнтів жорсткості і коефіцієнтів розсіювання енергії в ґрунтовій основі. Однак використання динамічної моделі споруди, яка розташовується на піддатливій основі, не дає можливості достатньо коректно розрахувати поповерхові спектри реакції у конкретних точках розташування обладнання, що має великий вплив на подальшу кваліфікацію устаткування, що досліджується.

Більш коректно, порівняно з моделюванням споруди стрижнями з зосередженими у вузлах масами, динамічна реакція будівлі на сейсмічний вплив може бути розрахована при використанні тривимірної скінченно-елементної моделі (СЕ-моделі). Однак моделювання масштабної складної конструктивної схеми будівлі (наприклад, реакторне відділення) разом з об'ємним ґрунтовим масивом методом скінченних елементів та розрахунок побудованої моделі прямим динамічним методом є складною комплексною задачею. До того ж безпосереднє використання такої моделі збільшує трудомісткість розрахунків.

Згідно з вищезазначеним, динамічна модель споруди не дозволяє достатньо коректно розрахувати поповерхові спектри реакції, а використання тривимірної СЕ-моделі разом з об'ємним ґрунтовим масивом являє собою комплексну задачу, яка вимагає вирішення ряду специфічних завдань. Тому в роботі запропоновано удосконалений метод динамічного аналізу системи ОФС для отримання динамічної реакції жорстких масивних будівель.

Удосконалений метод комбінує обидва вищенаведені способи розрахунку, що дозволяє обчислити поповерхові спектри реакції масивних будівель із плитним фундаментом у конкретних точках розташування обладнання та зменшити трудомісткість розрахунків.

У вдосконаленому методі динамічна модель використовується для врахування поведінки досліджуваної споруди при динамічному впливі, а також для отримання відкоригованих записів розрахункових впливів на рівні підшви фундаменту конструкції з урахуванням ефектів взаємодії ґрунтової основи та споруди. Для врахування взаємодії елементів системи ОФС ґрунт представляється у вигляді еквівалентних динамічних коефіцієнтів, які моделюють жорсткість і розсіювання енергії в ґрунтовій основі. В якості вихідних даних використовується сейсмічний вплив на рівні вільної поверхні ґрунту промислового майданчику розташування досліджуваної будівлі. Результатом розрахунку динамічної моделі будівлі є запис сейсмічного впливу

на рівні підшви фундаменту з урахуванням ефектів взаємодії ґрунтової основи і споруди.

Для подальших розрахунків поповерхових спектрів реакції у конкретних точках розташування обладнання використовується деталізована СЕ-модель досліджуваної споруди. Вихідними даними для деталізованої СЕ-моделі слугує сейсмічне навантаження на рівні підшви фундаменту, яке було отримане на етапі розрахунку динамічної моделі досліджуваної будівлі з урахуванням ефектів взаємодії елементів системи ОФС.

Процедура розрахунку за удосконаленим методом розділена на етапи, які наведені на рис. 1:

- 1) побудова СЕ-моделі будівлі;
- 2) розробка еквівалентної динамічної моделі будівлі;
- 3) розрахунок еквівалентних динамічних параметрів ґрунтової основи (коефіцієнти жорсткості та демпфування) для врахування взаємодій в системі ОФС;
- 4) розрахунок динамічної моделі будівлі з накладеними динамічними параметрами ґрунтової основи для отримання відкоригованого впливу на рівні підшви фундаменту конструкції;
- 5) розрахунок СЕ-моделі досліджуваної будівлі на сейсмічну дію, отриману на підставі попереднього етапу.

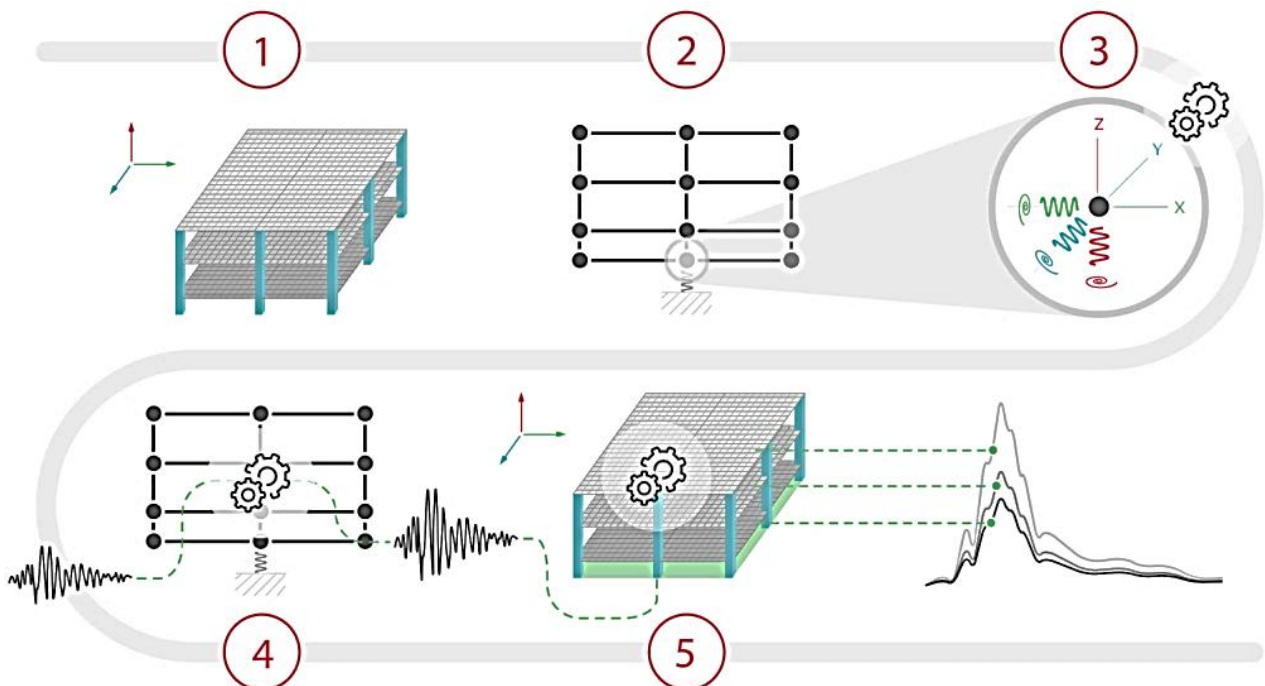


Рис. 1. Алгоритм удосконаленого методу розрахунку взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда"

Удосконалений метод адаптований для обчислення поповерхових спектрів реакції масивних будівель і споруд із плитним фундаментом у конкретних точках розташування обладнання, що має суттєве значення для подальшої кваліфікації систем, важливих для безпеки енергоблоків АЕС. Також

використання удосконаленого методу знижує трудомісткість та час розрахунків порівняно з моделюванням ґрунтової основи у вигляді об'ємного масиву ґрунту.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням взаємодії елементів системи ОФС при динамічному впливі.

Наведено результати повномасштабних польових досліджень, які проводились із метою створення динамічного впливу та реєстрації відповідних даних у контрольних точках на поверхні ґрунту та на відмітках досліджуваної будівлі для отримання якісних і кількісних оцінок перетворення динамічного впливу при його поширенні від ґрунту на будівлю і подальшої перевірки відповідності удосконаленого методу розрахунку взаємодії елементів системи ОФС результатам натурного дослідження.

Схема проведення польового дослідження представлена на рис. 2.

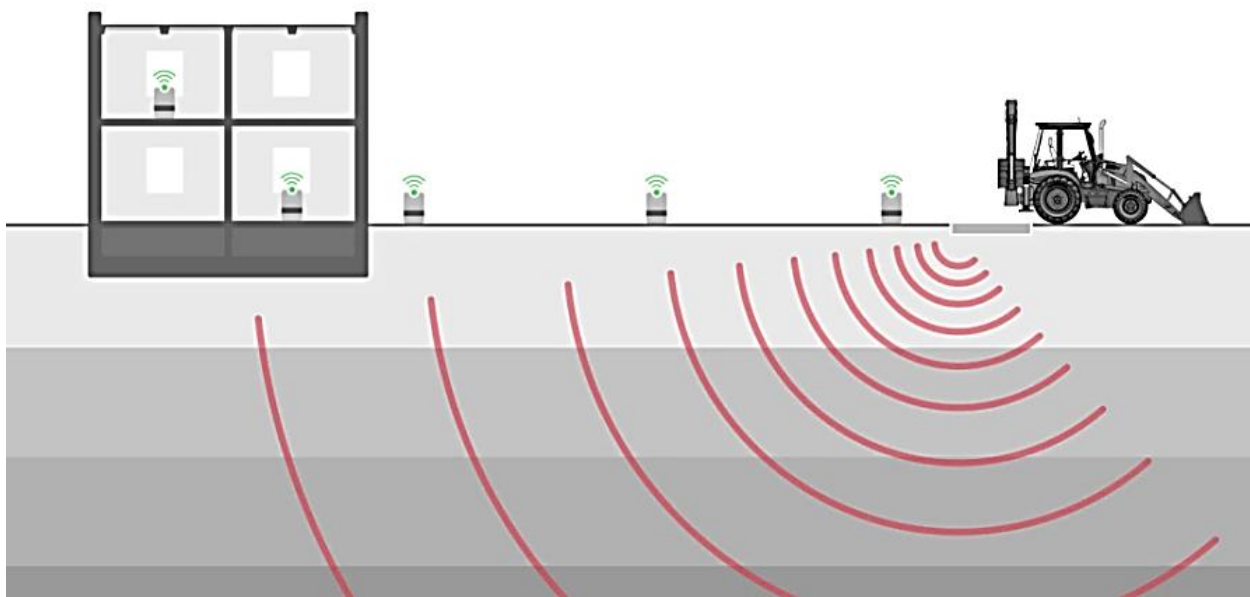


Рис. 2. Схема проведення польових досліджень

Дослідження взаємодії елементів системи ОФС проводились на будівлі водно-кисневої станції АЕС. Будівля представляє собою двоповерхове каркасне спорудження. Фундамент будівлі – монолітна залізобетонна плита.

Для аналізу вібрацій на майданчику, а також всередині будівлі використовувалась система під назвою GURALP CMG-40TD. Це сейсмологічне обладнання призначене для регіональних і локальних мереж інженерної сейсмології, тимчасових установок для дослідження динамічних характеристик, моніторингу будівель і споруд, вулканів.

Для реєстрації динамічного впливу на поверхні ґрунту згідно з технічною документацією сейсмометр встановлювався в підготовлене заглиблення (діаметр – 40 см, глибина – 60 см) на гранітну плитку в щільній водонепроникній поліетиленовій упаковці (рис. 3а). Сейсмологічний прилад засипався дрібним піском до його вершин. При реєстрації динамічного впливу на відмітках будівлі сейсмологічне обладнання встановлювалось безпосередньо на елементах конструкцій досліджуваної споруди (рис. 3б).

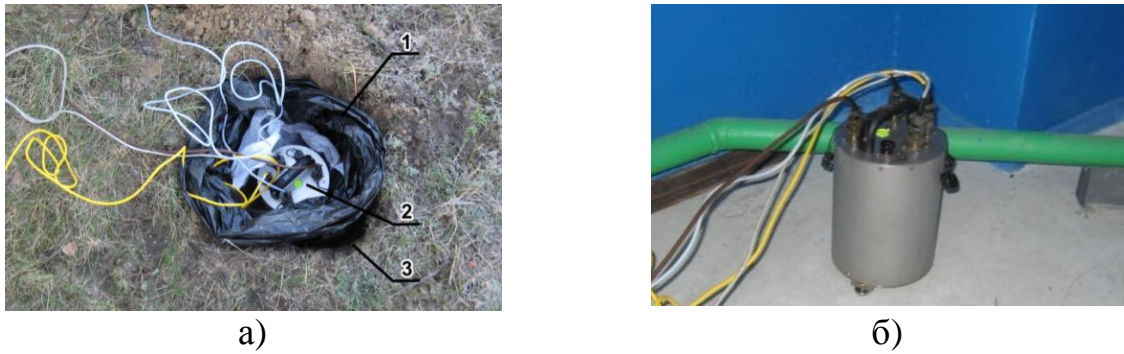


Рис. 3. Облаштування тимчасового пункту сейсмологічних спостережень: а) встановлення сейсмологічного приладу в ґрунті (1 – гідроізоляційний матеріал, 2 – сейсмологічний прилад, 3 – заглиблення), б) встановлення сейсмологічного приладу на відмітках будівлі.

Відповідно до мети польового дослідження – реєстрація записів на поверхні ґрунту та на відмітках будівлі – сейсмологічне обладнання розміщувалося за схемою, яка наведена на рис. 4.

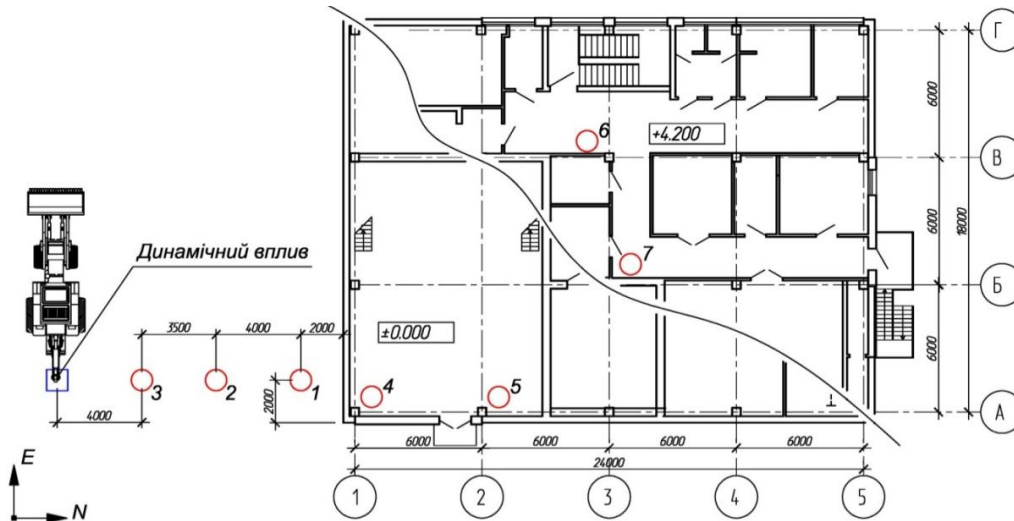


Рис. 4. Схема розташування сейсмометра на ґрунті (1-3), на відм. $\pm 0,000$ (4, 5) і на відм. $+4,200$ (6, 7)

Динамічний вплив імітувався шляхом нанесення ударів бетонолома по закладній деталі плити розміром 1×1 м протягом 15 с (рис. 5).



Рис. 5. Встановлення бетонолома та створення динамічного впливу

Реєстрація обладнанням динамічних даних відбувалось при проходженні динамічних хвиль через ґрунт у процесі створення динамічного впливу.

У результаті проведення польових досліджень отримано записи динамічного впливу на поверхні ґрунту та на відмітках будівлі, що досліджувалася. Отримані результати на подальших етапах роботи порівнюються з результатами моделювання даної задачі удосконаленим методом.

Методика порівняння результатів чисельних і натурних досліджень передбачає порівняння максимальних амплітуд прискорень в контрольних точках та порівняння спектрів Фур'є, які, в свою чергу, використовуються для частотного аналізу зареєстрованих впливів із метою виявлення основних частот і закономірностей зміни їх та амплітуд.

Із проведеного аналізу спектрів Фур'є зареєстрованих впливів на поверхні ґрунту і на відмітках будівлі виділені такі характерні особливості:

- найбільш інтенсивною за амплітудою в усьому частотному діапазоні є вертикальна складова, найменшою – горизонтальна складова в поздовжньому напрямку відносно досліджуваної будівлі;

- в усіх представлених спектрах Фур'є записів, зареєстрованих у контрольних точках вимірювання коливань, присутні два яскраво виражених піки на частотах приблизно 4 і 5,7 Гц, що пояснюється складністю зареєстрованого сигналу та наявністю в коливальному процесі декількох регулярних складових із різними частотами (частота динамічного впливу та частота екскаватора);

- коливання в контрольних точках на поверхні ґрунту істотно перевищують за амплітудою коливання, які були зареєстровані на відмітках досліджуваної будівлі, що пояснюється процесами фільтрації і демпфування, які супроводжують перехід коливальних процесів від ґрунту до будівлі.

У **четвертому розділі** наведено результати чисельних досліджень взаємодії елементів системи ОФС при сейсмічному впливі та порівняння результатів із польовими дослідженнями.

Згідно з удосконаленим методом, для моделювання ґрунтового середовища в системі ОФС використовувались дві методики розрахунку еквівалентних динамічних параметрів ґрунтової основи, методика проф. А. Н. Бірбрасера та методика проф. Дж. Газетаса.

Для оцінки збіжності отриманих результатів динамічної взаємодії елементів системи ОФС, яка була змодельована за удосконаленим методом, крім результатів, що були отримані при проведенні натурального експерименту, використовуються результати прямого методу взаємодії елементів системи ОФС (моделювання ґрунту об'ємними елементами).

Для розрахунку взаємодії елементів системи ОФС за удосконаленим методом побудова SE-моделі досліджуваної будівлі здійснювалась у середовищі розрахункового комплексу Robot. SE-модель досліджуваної будівлі представлена на рис. ба.

Для використання удосконаленого методу динамічного аналізу системи ОФС була розроблена динамічна модель досліджуваної будівлі. Динамічна

модель використовується для представлення загальних характеристик жорсткості та інерційно-масових характеристик конструкцій будівлі, а також для отримання результуючих записів розрахункових впливів на рівні підшви фундаменту конструкції (рис. 6б).

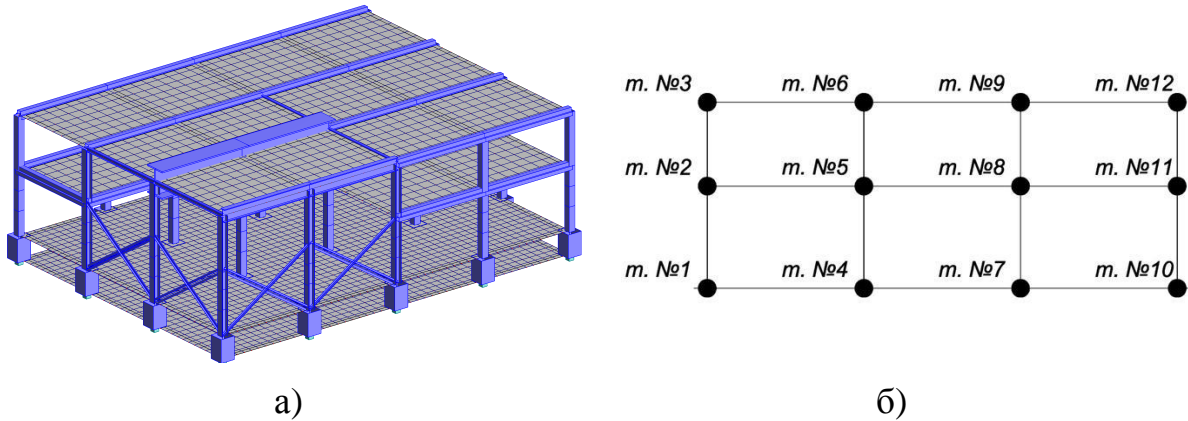


Рис. 6. Розрахункова модель досліджуваної будівлі:
а) СЕ-модель; б) динамічна модель.

Валідація динамічної моделі досліджуваної споруди складалася з двох різних аналізів: статичного, який визначає загальну масу конструкції, і модального, який визначає власні коливання конструкції з урахуванням приєднаних фіктивних мас від тривалих навантажень. Отримані дані порівнювались із результатами тривимірної СЕ-моделі будівлі, яка була розроблена на попередніх етапах. Аналіз результатів власних частот і форм коливань показує належну збіжність отриманих даних, похибка яких становить не більше 2 %.

Для подальшого аналізу проводилось об'єднання еквівалентних динамічних параметрів ґрунтової основи (коефіцієнти жорсткості та демпфування) і динамічної моделі будівлі, яка еквівалентна за масою і частотою тривимірній СЕ-системі (розрахунковій схемі конструкції).

Для верифікації динамічної моделі з накладеними коефіцієнтами жорсткості та демпфування був проведений порівняльний аналіз власних частот перших трьох форм коливань, отриманих за результатами чисельних та натурних досліджень. Перші форми коливання, як правило, найбільш якісно характеризують динамічну поведінку будівлі.

Визначення власних частот динамічної моделі в системі ОФС було здійснено за допомогою модального аналізу.

Для визначення власних частот досліджуваної будівлі за даними натурального експерименту була зроблена вибірка з записаних впливів на відмітці будівлі, де не виникало жодних збурень (фонової шум).

Отримання спектра частот досліджуваної будівлі за даними натурального експерименту виконувалось за допомогою перетворення Фур'є записів фонового шуму (рис. 7).

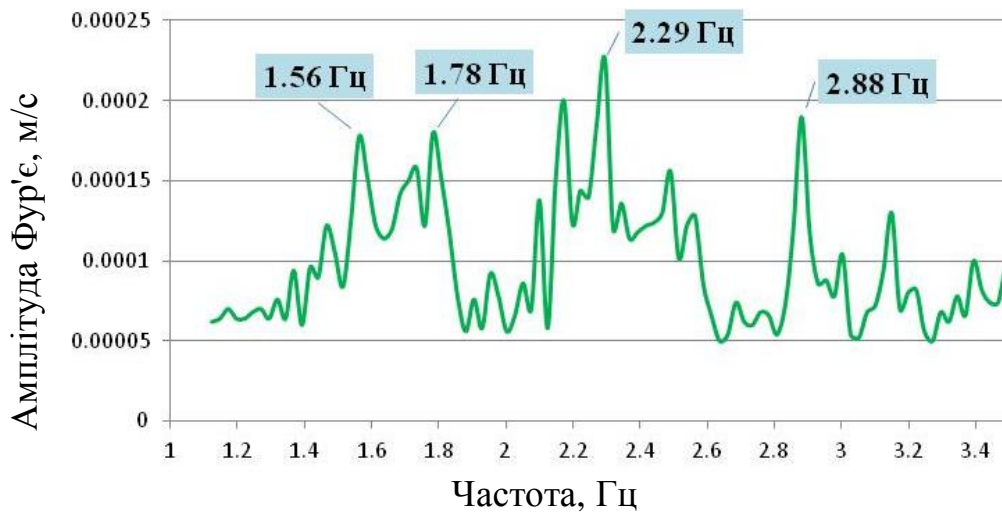


Рис. 7. Спектр Фур'є впливів фонового шуму на відмітках будівлі

Аналіз побудованого спектру Фур'є впливів фонового шуму на відмітках будівлі свідчить, що перший пік (1,56 Гц) відповідно до проведеного верифікаційного аналізу моделі ґрунтового масиву належить до першої частоти ґрунтового середовища (рис. 9), тоді як три інші піки являють собою перші три власні частоти досліджуваної будівлі в системі ОФС.

Порівняння власних частот досліджуваної будівлі, отриманих за результатами натурних та чисельних досліджень, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння власних частот головних форм коливань

Тип дослідження	Частота характеристичних форм коливань, Гц		
	Форма 1	Форма 2	Форма 3
Натурний експеримент	1,78	2,29	2,88
Чисельне дослідження	1,81	2,35	3,01

Аналіз отриманих результатів свідчить про належну відповідність чисельної моделі реальній будівлі. Похибка не перевищує 5 %.

Для отримання відкоригованого впливу на рівні підшви фундаменту будівлі був проведений розрахунок динамічної моделі споруди з накладеними еквівалентними динамічними параметрами ґрунтової основи. Розрахунок СЕ-моделі проводився шляхом прямого динамічного аналізу. Для цього до моделі прикладалися динамічні навантаження, що моделюють динамічну дію заданої інтенсивності у трьох напрямках. Вихідними даними були акселерограми в рівні підшви фундаменту з урахуванням взаємодії споруди та ґрунтової основи, які були отримані на етапі розрахунку динамічної моделі будівлі. Розрахунок дозволив врахувати ефекти взаємодії ґрунтової основи і споруди. У результаті розрахунку були отримані поперхові спектри реакції в контрольних точках будівлі. Порівняння результатів чисельних і натурних досліджень проводилось за максимальними значеннями амплітуд прискорень у контрольних точках і порівнювались спектри Фур'є отриманих записів.

Таблиця 2

**Порівняння максимальних амплітуд коливань у контрольних
точках № 4, 5**

№ з/п	Спосіб дослідження	контрольна точка №4, м/с ²			контрольна точка №5, м/с ²		
		Е	N	Z	Е	N	Z
1	Натурні дослідження	0,055	0,042	0,041	0,051	0,039	0,04
2	Методика Газетаса	0,068	0,054	0,038	0,064	0,05	0,038
3	Методика Бірбраєра	0,071	0,058	0,043	0,068	0,053	0,042
	Порівняння 1 і 2, %	23,6	28,5	7,8	25,4	28,2	5,26
	Порівняння 1 і 3, %	29	38	6,01	33,3	35,8	5

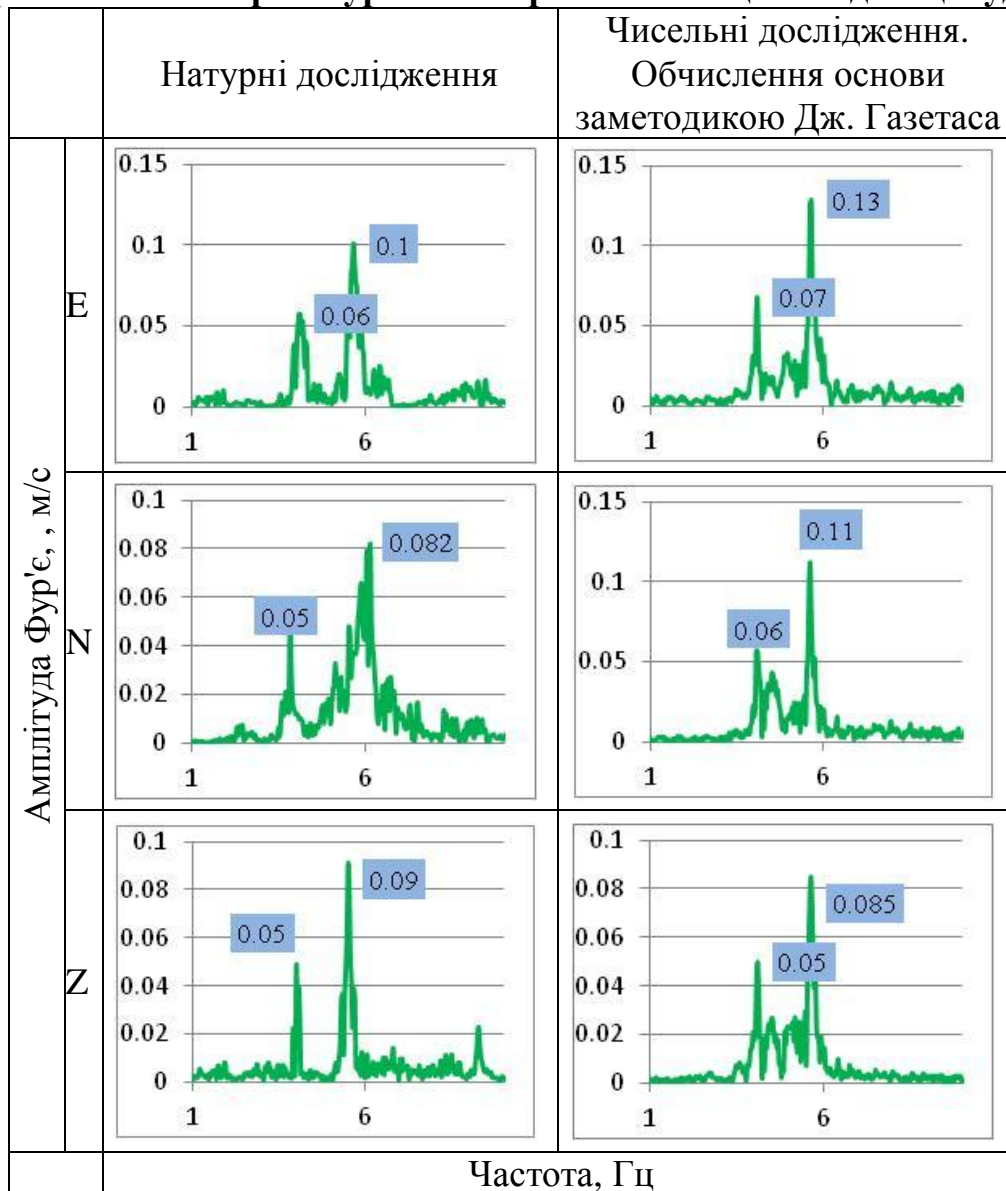
Таблиця 3

**Порівняння максимальних амплітуд коливань у контрольних
точках № 6, 7**

№ з/п	Спосіб дослідження	контрольна точка №6, м/с ²			контрольна точка №7, м/с ²		
		Е	N	Z	Е	N	Z
1	Натурні дослідження	0,026	0,022	0,038	0,024	0,019	0,038
2	Методика Газетаса	0,03	0,025	0,036	0,027	0,021	0,037
3	Методика Бірбраєра	0,03	0,028	0,039	0,028	0,024	0,039
	Порівняння 1 і 2, %	15,4	13,6	5,5	12,5	10,5	2,6
	Порівняння 1 і 3, %	15,4	27,2	2,6	16,6	26,3	2,6

У результаті порівняння максимальних амплітуд коливань чисельних значень і даних польового дослідження виявлено, що при використанні удосконаленого методу взаємодії елементів системи ОФС із урахуванням обчислення еквівалентних динамічних параметрів ґрунтової основи за запропонованою методикою Дж. Газетаса різниця в результатах не перевищує 28,5 %, тоді як при використанні методики розрахунку еквівалентних динамічних параметрів ґрунтової основи проф. А. Н. Бірбраєра, максимальна різниця становить 38 %. За результатами проведених досліджень отримано краще узгодження методики Дж. Газетаса з даними експериментальних польових досліджень, тому проводився їх подальший аналіз і порівняння результатів у частотній області з використанням спектрів Фур'є. Їх порівняння наведено в табл. 4. Із проведеного аналізу спектрів Фур'є зареєстрованих впливів у контрольних точках, отриманих за результатами чисельних та натурних досліджень, встановлено, що спектри Фур'є, які були побудовані за результатами експериментального та чисельного дослідження (удосконалений метод), досить близькі в усіх контурних точках. Розбіжність в амплітудах не перевищує 35 %. Для оцінки збіжності отриманих результатів динамічної взаємодії елементів системи ОФС, яка була змодельована згідно за удосконаленим методом, використовується прямий метод взаємодії елементів системи ОФС (моделювання ґрунту об'ємними елементами).

Порівняння спектрів Фур'є в контрольній точці на відмітці будівлі



Чисельне моделювання прямого методу взаємодії ґрунтового масиву та досліджуваної будівлі проводилось у розрахунковому комплексі Ansys. Дослідження проводились у тривимірній постановці з урахуванням реального нашарування ґрунтів основи, на якій знаходиться досліджувана будівля. Чисельна модель включає в себе об'ємний ґрунтовий масив, будівлю й елементи фундаменту (рис. 8).

Для верифікації SE-моделі ґрунтового масиву виконано порівняльний аналіз власної частоти масиву, отриманої за даними чисельного та натурального експерименту. Визначення власної частоти скінченно-елементного ґрунтового масиву було здійснено за допомогою модального аналізу розрахункової схеми. Згідно з чисельними розрахунками власна частота ґрунтового масиву складає 1,56 Гц. Отримання частоти ґрунтового масиву за даними натурального дослідження відбувалось із використанням перетворення Фур'є записів фонового шуму поверхні ґрунту.

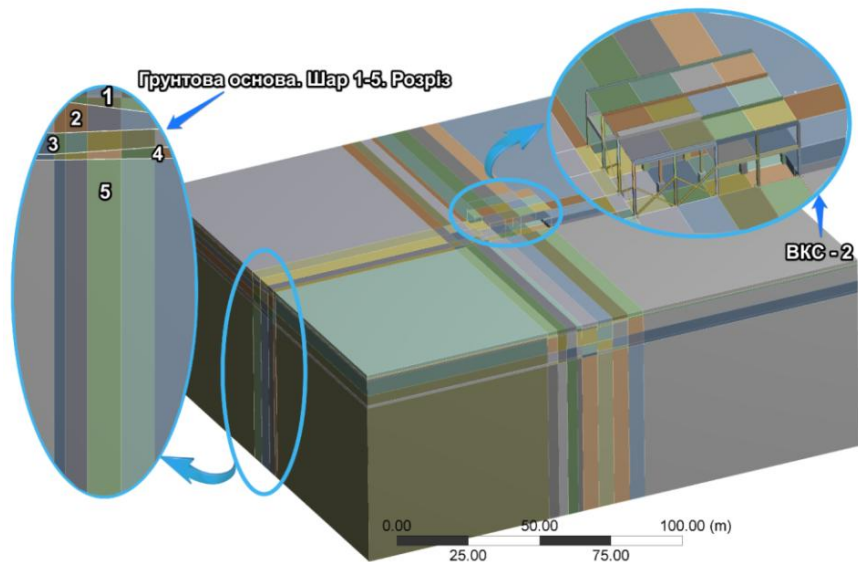


Рис. 8. Чисельна модель системи ОФС. Прямий метод взаємодії

Після необхідних перетворень побудовано усереднений спектр Фур'є в діапазоні досліджуваних частот, який відповідає записаним впливам фонового шуму на вільній поверхні ґрунтового середовища (рис. 9).

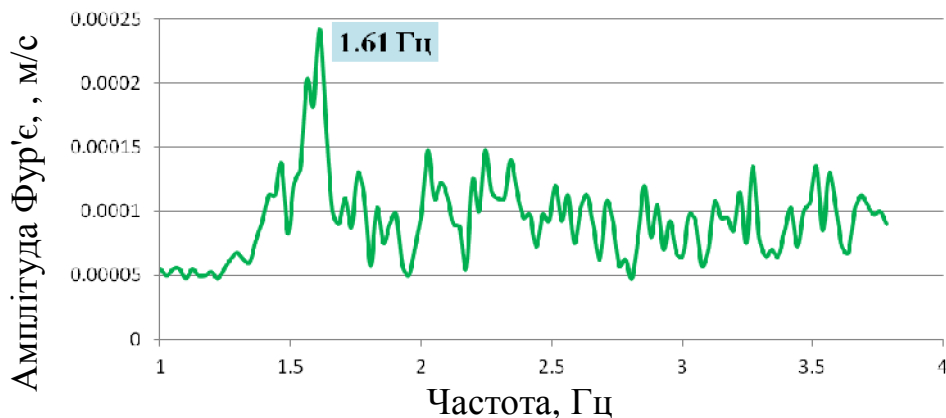


Рис. 9. Спектр Фур'є впливів фонового шуму на вільній поверхні ґрунтового масиву

Також для верифікації чисельної моделі була визначена передаточна функція ґрунтового масиву. В даному випадку передаточна функція описує співвідношення між спектром реакції скальної основи та спектром реакції вільної поверхні ґрунту. Розрахунки виконувались із використанням програми Shake.

Аналіз побудованого спектру Фур'є та передаточної функції свідчить про те, що власна частота ґрунтового масиву знаходиться в області частот між 1,6...1,7 Гц, що узгоджується з чисельними дослідженнями, де власна частота дорівнює 1,56 Гц.

Розробка та верифікація моделі досліджуваної будівлі виконувалася згідно з алгоритмом верифікації динамічної моделі споруди. Порівняння власних

частот досліджуваної будівлі, отриманих за результатами натурального експерименту та чисельного дослідження, представлено в табл. 5.

Таблиця 5

Тип дослідження	Частота власних форм коливань, Гц		
	Форма 1	Форма 2	Форма 3
Натурний експеримент	1,78	2,29	2,88
Чисельне дослідження. ПК Ansys	1,75	2,15	2,70

Аналіз отриманих результатів свідчить про належну відповідність чисельної моделі реальній будівлі. Розбіжність становить 6,1 %.

У результаті розрахунку були отримані кінематичні параметри (переміщення, швидкості, прискорення) у контрольних точках будівлі. Шляхом порівняння максимальних амплітуд коливань чисельних даних і даних експериментального польового дослідження виявлено, що максимальна похибка складає 16,6 %.

Моделювання ґрунтового середовища об'ємними елементами при розрахунку взаємодії елементів системи ОФС показує найбільшу збіжність результатів із експериментальними дослідженнями серед усіх розглянутих методів взаємодії ґрунтової основи зі спорудою, однак його використання є трудомістким із обчислювальної точки зору та вимагає вирішення ряду специфічних задач.

У **п'ятому розділі** представлені матеріали практичного досвіду аналізу системи ОФС при сейсмічному впливі. В якості прикладу представлено обчислення кінематичних параметрів і розрахунок сейсмостійкості будівлі реакторного відділення (РВ) Запорізької атомної електростанції (ЗАЕС) у системі ОФС.

Алгоритм динамічного аналізу РВ згідно з удосконаленим методом розрахунку взаємодії елементів системи ОФС при сейсмічному впливі представлений на рис. 10.

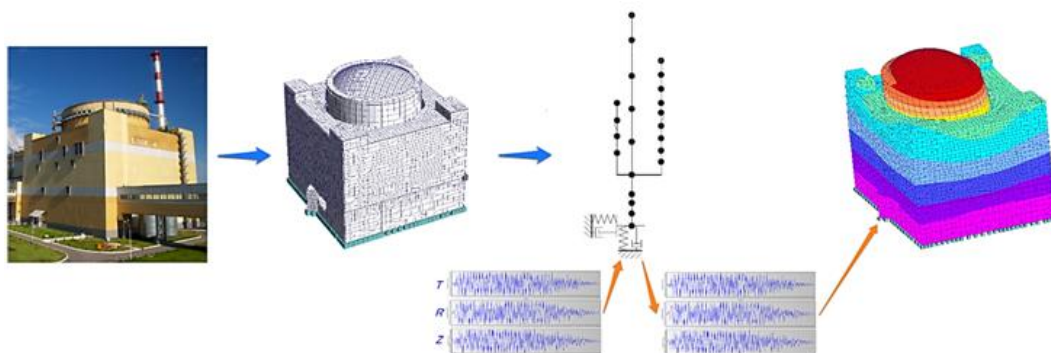


Рис. 10. Алгоритм методу розрахунку взаємодії елементів системи ОФС при сейсмічному впливі на прикладі РВ

Для обґрунтування сейсмостійкості та розрахунку кінематичних параметрів будівель і споруд ЗАЕС чеська компанія "Юник" також проводила дослідження взаємодії елементів системи ОФС. Зокрема проводились дослідження взаємодії ґрунтової основи зі спорудою для будівлі РВ. У результаті обчислень були отримані спектри реакції на підшві фундаменту РВ із урахуванням взаємодії споруди та ґрунтової основи.

Розрахунок взаємодії споруди з ґрунтовою основою фахівцями чеської компанії виконувався за допомогою MCE з використанням розрахункового комплексу SASSI (system for analysis of soil-structure interaction).

Аналіз порівняння спектрів реакції, отриманих на підшві фундаменту РВ, у результаті розрахунку системи ОФС показав, що в горизонтальних напрямках Х та Y основний пік прискорення знаходиться в рамках 1 Гц і дорівнює близько 11 м/с^2 . Різниця максимального піку горизонтальних спектрів реакції, отриманих фахівцями чеської компанії та отриманих за допомогою удосконаленого методу, не перевищує 5%. Форми спектрів реакції в горизонтальному напрямку, які були отримані за різними методами, достатньо близькі по всім контурним точкам.

Аналіз отриманих спектрів реакції у вертикальному напрямку показує значну розбіжність результатів, що пояснюється різницею в методах аналізу системи ОФС при сейсмічному впливі, а саме використанням коефіцієнтів жорсткості та демпфування в удосконаленому методі, які обчислюються за допомогою методики Дж. Газетаса, що призведе до заниження отриманих результатів у вертикальному напрямку в зв'язку з використанням уточнених фізико-динамічних характеристик ґрунтової основи.

ВИСНОВКИ

Проведені в дисертаційній роботі дослідження вирішують актуальну науково-прикладну задачу удосконалення алгоритму динамічного аналізу системи "основа – фундамент – споруда". Отримані в роботі рішення ґрунтуються на загальноприйнятих теоретичних положеннях і узгоджуються з результатами експерименту та чисельними розрахунками. Це свідчить про достовірність результатів виконаного дослідження та дозволяє зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що при розрахунку поповерхових спектрів реакції будівель і споруд АЕС необхідно враховувати взаємодію елементів системи "основа – фундамент – споруда". Під час досліджень слід проводити опис методів розрахунку й обґрунтовувати застосування цих методів.

2. Удосконалено метод розрахунку системи "основа – фундамент – споруда" при сейсмічних навантаженнях і розроблено його алгоритм. Метод дозволяє розрахувати поповерхові спектри реакції масивних будівель із плитним фундаментом у конкретних точках встановлення обладнання з урахуванням в'язко-пружних властивостей ґрунтової основи. Удосконалений метод в порівнянні з використанням тривимірної скінченно-елементної моделі разом із об'ємним ґрунтовим масивом знижує трудомісткість і скорочує час розрахунків.

3. Складено рекомендації щодо розробки та верифікації динамічних моделей будівель і споруд та розроблено блок-схеми обчислення динамічних параметрів ґрунтової основи.

4. Обґрунтовано удосконалений метод розрахунку взаємодії ґрунтової основи зі спорудою на основі результатів повномасштабного польового дослідження взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" при ударному впливі на ґрунт.

5. Доведено, що динамічний розрахунок жорстких масивних будівель із плитним фундаментом в системі "основа – фундамент – споруда" з використанням удосконаленого методу дозволяє врахувати ефекти взаємодії ґрунтової основи зі спорудою. Встановлено, що різниця в результатах чисельних досліджень і натурального експерименту не перевищує 28,5 %.

6. Виявлено, що розрахунок поповерхових спектрів реакції з використанням тривимірної скінченно-елементної моделі разом з об'ємним ґрунтовим масивом демонструє найбільшу збіжність, однак являє собою складну комплексну задачу, яка вимагає вирішення ряду специфічних завдань.

7. Розраховано поповерхові спектри реакції та досліджено НДС реакторного відділення АЕС при дії сейсмічного навантаження з урахуванням в'язко-пружних властивостей ґрунтового масиву. Результати, отримані при використанні удосконаленого методу, відповідні за точністю з більш складним і трудомістким існуючим методом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Седин В. Л. Моделирование основания в системе "основание-сооружение" при статических нагрузках в расчетном комплексе robot structural analysis professional / В. Л. Седин, **В. А. Загильский**, А. Г. Ефименко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2013. – № 8. – С. 9–13.

2. Седин В. Л. Взаємодія основи і споруди при аналізі сейсмостійкості на прикладі головного корпусу АЕС / В. Л. Седин, **В. А. Загильський**, А. Г. Єфіменко // Основи і фундаменти : міжвід. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2014. – Вип. 35. – С. 21–28.

3. Учет основания и сейсмических условий площадки при анализе сейсмостойкости реакторного отделения / В. Л. Седин, Е. А. Бауск, М. М. Довбнич, **В. А. Загильский** // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2015. – № 11. – С. 42–51.

4. Седин В. Л. Взаимодействие основания и сооружения при анализе сейсмостойкости зданий повышенной категории ответственности / В. Л. Седин, **В. А. Загильский**, А. Г. Ефименко // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2015. – № 2. – С. 17–20.

5. Седин В. Л. Аналіз НДС конструкцій будівель і споруд АЕС в системі "ґрунтова основа-фундамент-споруда" / В. Л. Седин, **В. А. Загильський** // Основи та фундаменти : міжвід. наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – Київ, 2015. – Вип. 37. – С. 340–351.

6. 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* : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 85 : Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – С. 62–67.
7. Syedin V. L. *On the issue of "soil – foundation – structure" System interaction for the npp constructions Under seismic impact* / V. L. Syedin, **V. A. Zagilsky** // *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво* / Полтавський нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2016. – Вип. 1 (46). – С. 95–101.
8. Сєдін В. Л. *Верифікація чисельної моделі будівель АЕС при динамічному аналізі системи "основа – фундамент – споруда"* / В. Л. Сєдін, В. А. Загільський // *Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб.* / Держ. н.-д. ін.-т. буд. конструкцій. – Київ, 2016. – Вип. 80. – С. 153–160.
9. **Zagilsky V. A.** *Soil modeling for seismic analysis of nuclear power plants* / V. A. Zagilsky // *Students Scientific Conference "Engineer of the 3-rd millennium"* – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – С. 87-88.
10. Syedin V. L. *Analysis of accounting methods for dynamic interaction in the system "soil – structure" for critical facilities* / V. L. Syedin, **V. A. Zagilsky** // *Наука і техніка: перспективи ХХІ століття : міжнар. наук.-практ. конфер. молодих вчених, 11 квітня 2014 р.* / Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 87–89.

АНОТАЦІЯ

Загільський В. А. *Удосконалення розрахункового методу аналізу динамічної взаємодії системи "основа – фундамент – споруда" для атомних електростанцій.* – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 – основи і фундаменти. – Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2016.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню методів розрахунку взаємодії ґрунтової основи та будівель підвищеної категорії відповідальності при дії сейсмічних навантажень з метою обчислення поповерхових спектрів реакції у конкретних точках встановлення обладнання, що має суттєве значення для подальшої кваліфікації систем, важливих для безпеки енергоблоків атомних електростанцій.

У роботі приведено удосконалення та обґрунтування методу розрахунку взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" при дії динамічних, у т.ч. сейсмічних, навантажень із урахуванням в'язко-пружних властивостей ґрунтової основи.

Проведено повномасштабне польове дослідження взаємодії ґрунтової

основи з будівлею атомної електростанції при динамічному впливі з метою реєстрації відповідних даних у контрольних точках на поверхні ґрунту та на відмітках будівлі.

Наведено результати чисельних досліджень перевірки відповідності удосконаленого методу розрахунку взаємодії елементів системи "основа – фундамент – споруда" результатам натурного дослідження.

Ключові слова: динамічний вплив, система "основа – фундамент – споруда", динамічна модель, поповерховий спектр реакції.

АННОТАЦИЯ

Загильский В. А. Усовершенствование расчетного метода анализа динамического взаимодействия системы "основание – фундамент – сооружение" для атомных электростанций. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 – основания и фундаменты. – Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры" Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2016.

Диссертация посвящена развитию методов расчета взаимодействия грунтового основания и зданий повышенной категории ответственности при действии сейсмических нагрузок с целью вычисления поэтажных спектров реакции в конкретных точках расположения оборудования, что имеет существенное значение для дальнейшей квалификации систем, важных для безопасности энергоблоков атомных электростанций.

В работе приведено усовершенствование и обоснование метода расчета взаимодействия элементов системы "основание – фундамент – сооружение" при динамических, в т.ч. сейсмических, нагрузках с учетом вязко-упругих свойств грунтового основания. Разработан комбинированный алгоритм аналитических и численных решений, что позволяет оптимизировать вычисление поэтажных спектров реакции жестких массивных зданий с плитным фундаментом. Приведены рекомендации по разработке и верификации динамических моделей зданий и сооружений и разработаны блок-схемы вычисления динамических параметров грунтового основания.

Проведено полномасштабное полевое исследование взаимодействия грунтового основания и здания атомной электростанции при динамическом воздействии с целью регистрации соответствующих данных в контрольных точках на поверхности ґрунта и на отметках здания. Получена качественная и количественная оценка преобразования динамического воздействия при его распространении с ґрунта на исследуемое здание.

Приведены результаты численных исследований проверки соответствия усовершенствованного метода расчета взаимодействия элементов системы "основание – фундамент – сооружение" результатам натурного исследования. Показано, что динамический расчет жестких массивных зданий с плитным фундаментом с использованием усовершенствованного метода позволяет учесть эффекты взаимодействия грунтового основания с сооружением.

Представлены результаты исследования здания реакторного отделения атомной электростанции при действии сейсмических нагрузок с использованием усовершенствованного метода, что позволило вычислить поэтажные спектры реакции и оценить распределение НДС в конструкциях исследуемого здания с учетом его взаимодействия с грунтовым основанием. Выявлено, что полученные при использовании усовершенствованного метода результаты сравнимы по точности с более сложным и трудоемким существующим методом.

Ключевые слова: динамическое воздействие, система "основание – фундамент – сооружение", динамическая модель, поэтажный спектр реакции.

ABSTRACT

Zagilsky V. A. Improvement of the computational method for the analysis of dynamical interaction of the "soil – foundation – structure" system for the nuclear power plants. – On rights for manuscript.

Thesis for a Candidate degree in Technical Sciences, speciality 05.23.02 – Bases and foundations. – State Higher Educational Establishment "Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture" of Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2016.

The thesis research is dedicated to the development of methods for calculation of the interaction between the soil and the upper responsibility category building under the seismic loads with the purpose of floor response spectrum calculation in the specific equipment installation locations, which is essential for the subsequent qualification of the power unit systems that are critical for the nuclear power plant safety.

The thesis presents an improvement and a justification of the method for calculation of the interaction between the elements of the "soil – foundation – structure" system exposed to the dynamic loads, including seismic loads, taking into account the viscoelastic properties of the supporting ground.

The full-scale field experiment of interaction between the supporting ground and the nuclear power plant building under the dynamic excitation has been conducted in order to record related data at the control points on the ground surface and at the building levels.

The thesis research presents the results of the numerical investigation for the verification of the consistency of the improved method for calculation of the interaction between the elements of the "soil – foundation – structure" system with the field observations results.

Keywords: dynamic load, "soil – foundation – structure" system, dynamic model, floor response spectrum.