

УДК 624.131:624.15

**ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ОСИДАНИ  
ФУНДАМЕНТІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС**

*д.т.н., проф. Седін В.Л., с.н.с. Бауск Є.А, аспірант Кірнос К. А.  
ДВНЗ Придніпровська державна академія будівництва і архітектури*

**Постановка проблеми.** Одним з найбільш важливих технічних, технологічних і організаційних чинників, що впливають на забезпечення надійності експлуатації енергетичного устаткування споруд атомних електростанцій (АЕС), безпосередньо залежить від оцінки стану осідань і кренів фундаментів енергоблоків.

Нормативна база при будівництві для великих і масивних будівель реакторних відділень була недосконалою. Тому будівництво більшості з таких будівель супроводжувалось нерозрахунковим і непрогнозованим розвитком осідань і особливо крену. У ряді випадків фактичні осідання перевищили розрахункові в 2-3 рази, а крен на ще більшу величину. Фактичний крен, проте, знаходився в межах тих, що допускаються діючими нормативними документами значень, а осідання монолітних і жорстких споруд, таких як реакторне відділення, допускалося взагалі не нормувати, оскільки вони осідають і креняться разом з розташованими на них устаткуванням енергоблоку.

Враховуючи вищезазначене, комплексні теоретичні і експериментальні дослідження абсолютних величин осідань і крену фундаментів енергоблоків, оцінка характеру розвитку осідань і деформацій в часі для подальшої надійної експлуатації споруд і технологічного устаткування атомних станцій є актуальним завданням [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні положення в області взаємодії фундаментів складної форми з ґрунтовими основами з урахуванням особливостей ґрунтів та їх поведінка в динаміці викладені в роботах вчених: Бауска Є.А., Винникова Ю.Л., Головки С.І., Заліського О.Г., Зоценко М.Л., Іллічова В.О., Калюха Ю.І., Кірічека Ю.О., Седіна В.Л., Ставніцер Л. Р., Тимченко Р. А., Шокорева В.С., Швеця В.Б., та ін.

**Метою статті** є розробка комплексного підходу чисельного моделювання та експериментальних досліджень розвитку характеру осідань і кренів фундаментів, що дозволяє стабілізувати осідання та здійснювати регулювання кренів фундаментів реакторних відділень (РВ) для забезпечення експлуатаційної надійності енергоблоків АЕС.

**Виклад основного матеріалу.** На сьогодні обмеженість ресурсів, що не поновлюються, та в той же час зростання потреби в енергії, являються незаперечними фактами, які створюють умови для подальшого розвитку атомної енергетики [3].

Особливістю будівель і споруд сучасних АЕС з точки зору будівельної науки, є більш жорсткі вимоги по деформаційних параметрам як усього спорудження, так і окремих його елементів.

Нерівномірні осідання ґрунтової основи фундаменту реакторних відділень викликають крен споруди і самого реакторного апарату. Особливістю ядерних реакторів є неприпустимість нахилів в період експлуатації. За нормами проектування атомних станцій крен споруди першого класу, до яких відноситься реакторне відділення, не повинен перевищувати 0,001 (без урахування сейсмічних впливів) з моменту початку будівництва [4, 5].

В якості основного об'єкта дослідження було прийнято майданчик Запорізької АЕС, по якій були отримані більш повний обсяг експериментальних досліджень, проведені додаткові випробування ґрунтів, відпрацьована методика проведення натурних спостережень, а також апробовані і впроваджені результати цієї роботи. Для порівняльного аналізу використані результати проведених досліджень і спостережень на майданчиках Хмельницької, Калінінської, Балаковської АЕС та АЕС «Козлодуй», які представлені різними ґрунтовими умовами.

Для виявлення закономірностей розвитку деформацій ґрунтової основи будівель реакторного відділення енергоблоку № 1 та № 3 Запорізької АЕС (ЗАЕС) у 2003 році були виконані роботи з встановлення глибинних ґрунтових марок в зоні впливу «воронки осідань» і за її межами. Для вивчення стисливої товщі і пошарових деформацій марки були встановлені на глибинах 12, 35 і 48 метрів.

Обробка результатів спостережень за глибинними марками РВ-1 і РВ-3 за період з 2003 до 2013 року зображено на рис. 1.

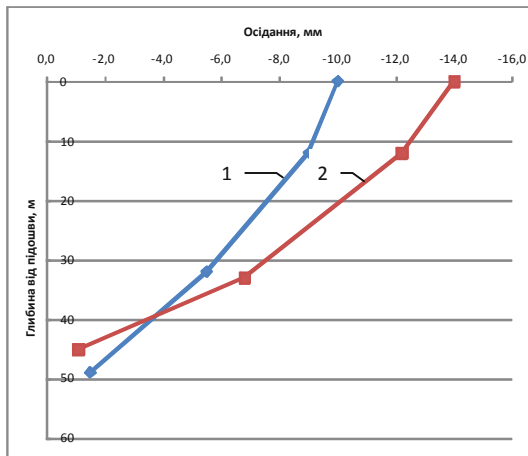


Рис. 1. Профілі осідань ґрунтових глибинних марок РВ-1 (лінія 1) і РВ-3 (лінія 2) по глибині основи за період з 2003 року до 2013 року

В даній роботі в якості теоретичних досліджень був запропонований метод чисельного моделювання (ЧМ) деформацій основи фундаментів

енергоблоків.

Перевага ЧМ полягає в тому, що цей метод дозволяє використовувати багатоваріантність зміни основних параметрів досліджень.

З цією метою були систематизовані і класифіковані фактори і параметри, що впливають на осідання і крени фундаментів енергоблоків, та виявлені найвагоміші з них на підставі нормативних розрахункових схем:

– розрахункові значення показників фізико-механічних властивостей ґрунтів, отриманих на основі даних геологічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних вишукувань Галузевої науково-дослідної лабораторії атомних станцій ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

– середній тиск по підшві фундаменту.

В основу чисельного моделювання деформацій основ фундаментів енергоблоків покладено універсальний чисельний метод кінцевих елементів.

Побудова кінцево-елементної моделі системи «основа-фундамент» здійснювалась кількома етапами за допомогою засобів програмного комплексу:

- побудова моделі основи;  
 - побудова геометричної і звичайної елементної моделі фундаментної плити;

- об'єднання звичайної елементної моделі плити і моделі основи,

- побудова звичайної елементної моделі системи «основа-фундамент»;

- завдання граничних умов, тобто визначення навантажень і перемішень.

Формально чисельна модель являє собою абстрактну схему відносин між величинами, що характеризують адекватність реального процесу. Тому результати, отримані на основі чисельного моделювання, були кількісно оцінені за допомогою експериментальних даних осідань і кренів фундаментів.

У результаті ЧМ були отримані розрахункові значення теоретичних «воронки осідань» основи реакторного відділення (РВ) та машинного залу (МЗ) (суцільна лінія на рис. 2). На рисунку 2, також показано пунктирною лінією графік осідань за результатами експериментальних досліджень.

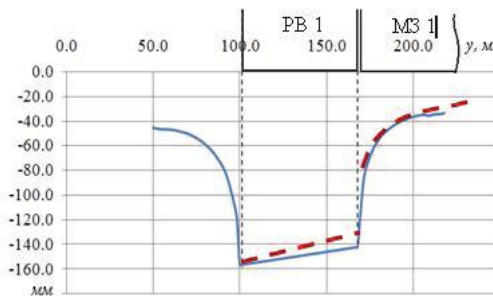


Рис. 2. Графік осідань основи РВ та МЗ вздовж осі у за результатами чисельного моделювання і експериментальних досліджень

Порівняльний аналіз показав, що кількісні характеристики отриманих теоретичних «воронок осідань» аналогічні даним експериментальних спостережень за осіданнями і кренами фундаментів реакторів енергоблоків № 1, 3 ЗАЕС.

На підставі вищевикладеного, був зроблений висновок, що методика ЧМ може бути використана для подальших досліджень, які з різних причин не можуть бути виконані експериментальними дослідженнями.

#### **Висновки і перспективи подальших досліджень в даному напрямку.**

Чисельне моделювання дає можливість враховувати різні значення показників фізико-механічних властивостей основ, отриманих на основі даних геологічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних вишукувань, навантажень на основу фундаментів, а також вплив довколишніх будівель на осідання фундаментів.

Проведення комплексних теоретичних та експериментальних досліджень дозволяє знизити витрати часу та коштів на визначення місця розташування і загальної маси привантаження.

Запропонована методика чисельного моделювання використана для регулювання кренів корпусів реакторів за допомогою залізобетонного привантаження.

Дана методика дозволяє визнати вплив кожного з цих факторів на осідання і крен, з метою проведення найбільш ефективних технічних заходів з обмеження нерівномірності осідань і регулювання кренів. А так само розраховувати в часі деформації основ фундаментів споруд енергоблоків на нових АЕС.

### **ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Зализский А.Г. Деформации оснований реакторного отделения АЭС и их регулирование в процессе строительства и эксплуатации: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.02. «Основания и фундаменты, подземные сооружения»/ - «Санкт-Петербург: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Вениева, 2007. -155 с.
2. С.Г. Кушнер. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений. З.: « ИПО Запорожье», 2008.-67, 49б.
3. <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. ПиНАЭ 5.10-87. Основания реакторных отделений атомных станций/ Госстрой СССР.-М.1987.
5. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проєктування. ДБН В.2.1-10-2009. Затверджено наказом Мінрегіонбуду України від 19.01.2009 р. № 5.