

УДК 624.131

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ХАРАКТЕР РОЗВИТКУ ОСІДАНЬ І КРЕНІВ 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 та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Одним з найбільш важливих технічних, технологічних і організаційних чинників, що впливають на ухвалення обґрунтованих рішень про продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС, є забезпечення надійності експлуатації енергетичного устаткування, яка безпосередньо залежить від оцінки стану фундаментів будівель та споруд.

Визначення абсолютних величин осідань і крену фундаментів, оцінка характеру розвитку осідань і деформацій в часі для подальшої надійної експлуатації споруд і технологічного устаткування атомних станцій є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні положення в області взаємодії фундаментів різного типу з ґрунтовими основами при статичних і динамічних навантаженнях з урахуванням особливостей ґрунтів та їх поведінка в динаміці викладені в роботах: Іллічова В.А., Таранова В.Г., Швеця В.Б., Ставніцер Л. Р., Тимченко Р. А., Головка С.І., Шаповала В.Г. та інших провідних вчених.

Метою статті є аналіз факторів і загальних закономірностей розвитку характеру осідань і кренів фундаментів будівель та споруд АЕС та оцінка придатності їх до подальшої експлуатації.

Виклад основного матеріалу. В Україні продовження термінів експлуатації атомних електростанцій (АЕС) є стратегічно важливим завданням, яке в майбутньому забезпечить виробництво електроенергії на досягнутому рівні до введення нових потужностей на теплових і атомних станціях при істотно менших витратах.

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. З іншого боку інвестування “дорогих” довгострокових проєктів АЕС обмежено, що ускладнюється економічною кризою, негативним впливом екологічних, політичних та інших суспільних чинників.

В результаті протистояння цих напружених відносин між даними позиціями в суспільстві вони або врівноважуються, або одна з позицій має

істотну чи незначну перевагу. В результаті проведення комплексу робіт по оцінці безпеки подальшої експлуатації, 10 грудня 2010 року на виїзному засіданні Державного комітету ядерної регуляції Україні була підписана ліцензія на продовження терміну експлуатації енергоблоків №1, 2 Рівненської АЕС на 20 років за умови переоцінки безпеки цих блоків кожні 10 років.

Прийняття такого стратегічного курсу у вітчизняній атомній енергетиці дає країні чималі економічні вигоди і одночасно забезпечить в майбутньому більш швидкий вихід на якісно новий рівень енергетичної безпеки.

Метою обстеження та моніторингу осідання і кренів фундаментів енергоблоків є визначення дійсного стану і обґрунтування загальної надійності АЕС, включаючи організацію обстеження, вібраційних досліджень конструкцій фундаментів та оцінку придатності їх до подальшої експлуатації.

Запорізька АЕС є найбільшою атомною електростанцією не лише в Україні, а й у Європі. Станція виробляє 40- 42 мільярди Квт/рік, що складає п'яту частину середньорічного виробництва електроенергії в Україні і близько 47% електроенергії, що виробляють АЕС Україні [5].

Проектний термін служби першого енергоблоку ЗАЕС закінчується в 2014 р., другого - в 2015 р., тому робота з продовження терміну експлуатації цих енергоблоків йде паралельно. В даний час Запорізька АЕС (ЗАЕС) знаходиться на стадії реалізації заходів з оцінки технічного стану обладнання. Весь комплекс робіт з оцінки технічного стану планується завершити на першому енергоблоці до 30.10.2013 р., на другому - до 29.11.2013г. [6].

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. Граничні значення спільної деформації основ і споруд АЕС встановлюються виходячи з дотримання наступних граничних станів:

а) максимально допустимі деформації споруд, які призначаються з умови роботи технологічного обладнання;

б) граничний стан за міцністю, стійкістю і тріщиностійкістю конструкцій, включаючи загальну стійкість споруд.

Для забезпечення безпеки роботи енергообладнання стійкість споруд АЕС найбільше значення набувають виконання першої категорії граничного стану (виходячи з умов роботи технологічного обладнання). Граничні значення спільної деформації основи і споруд за технологічними вимогами встановлюються відповідними нормами проектування будівель і споруд АЕС, правилами технічної експлуатації енергообладнання або завданням на проектування з урахуванням, в необхідних випадках, рихтування положення устаткування в процесі експлуатації. Так крен реакторного відділення для реакторного апарату типу ВВЕР-1000 обмежений величиною нахилу фланця головного роз'єму реактора. Це обмеження обумовлено забезпеченням безпечної роботи реакторного апарату.

Фундаменти реакторних відділень енергоблоків № № 1-6 з реактором ВВЕР-1000 представляє коробчасту залізобетонну конструкцію в плані 68x68 м і висотою 20 м в будівельних позначках від -7,2 до 13,2 м. Внутрішні перекриття, стіни і діафрагми фундаменту монолітно пов'язані між собою нижньої і верхньої плитою фундаменту. Товщина нижньої залізобетонної плити складає два з половиною метра, вона зведена по бетонній підготовці товщиною 0,2 м. Верхня плита коробчастого фундаменту на будівельній позначці 13,2 м товщиною 2,5 м є опорною частиною оболонки гермозони і споруди реакторного відділення. Оболонка гермозони монолітна залізобетонна діаметром 45 м. Споруда реакторного відділення виконана в збірно-монолітному варіанті. Глибина закладення нижньої плити прийнята 7,2 м. Загальна маса споруди реакторного відділення з урахуванням маси технологічного обладнання з коефіцієнтом перевантаження 1,1 складає 262 тис. т. При цьому навантаженні середній тиск по підшві фундаменту має значення 0,56 МПа (5,6 кгс/см²).

Нерівномірні осідання ґрунтової основи фундаменту реакторного відділення 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. Згідно [4] граничні значення спільної деформації ґрунтової основи та фундаменту реакторного відділення приймаються:

- $S_u \leq 300$ мм, в тому числі в період експлуатації не більше 100 мм.

Згідно [3] середня осадка ґрунтової основи та фундаменту реакторного відділення приймається:

- $S_u \leq 200$ мм.

Актуальність оптимізації геотехнічного моніторингу доповнюється ще і тим фактом, що 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 [1].

Важливими є дані про вплив на деформації основи фундаментів турбоагрегатів будівель поблизу розташованих реакторних відділень, які передають на основу в 2,0 ... 2,5 рази більші тиску. Проявом цього впливу в разі нескельних основ є утворення значної осадочної «воронки» навколо будівлі реакторного відділення. Ця «воронка» перетинає «пляму» фундаменту

турбоагрегату і викликає додаткову осадку величиною до 5 мм (Запорізька АЕС) і до 10 мм (Хмельницька АЕС). Викривлення поверхні основи призводить до утворення поздовжнього вигину та крену фундаменту турбоагрегату.

На основі аналізу нормативної, науково-дослідної документації були систематизовані і класифіковані наступні фактори, що впливають на осідання та крен фундаментів:

- проектні;
- технологічні;
- вимоги по деформаційних параметрах (максимально допустимі деформації фундаментів, які виходять з умови роботи технологічного устаткування);
- норми проектування будівель і споруд;
- особливості будівель реакторних відділень з ВВР-1000;
- щільність забудови об'єктами АЕС (взаємовплив будівель на осідання в 2 рази і більше);
- правила технічної експлуатації;
- зміна фізико - механічних властивостей ґрунтів в процесі експлуатації;
- вартість фундаментів в загальній вартості споруди.

В свою чергу повне стабілізоване або кінцеве осідання основи фундаменту залежить від:

- величини навантажень, що передаються на фундамент від споруди, від фундаментів сусідніх споруд і навантаження на поверхні від устаткування, що викликають відповідну напругу в основі, і розподіляючої здатності основи;
- умов в площині контакту фундаменту і ґрунту;
- розмірів, форми, жорсткості контактної поверхні і глибини фундаменту;
- розмірів пластичних зон під фундаментом;
- структури і текстури ґрунту;
- характеристик реформованості і інших властивостей ґрунту (попереднього обжимання в процесі генезису, щільності складання піщаних ґрунтів, консистенції і пористості глинистих і т.д.);
- характеру і швидкості навантаження (миттєве, повільне, циклічне і т. д.);
- дії динамічних навантажень;
- часу протікання процесів консолідації;
- порядку зведення частин споруди або сусідніх споруд;
- ступені порушення умов природного залягання ґрунту при виробництві робіт і експлуатації споруди [2].

Проблематичність осідань розглядається переважно не з погляду безпеки самої будівлі реакторного відділення (РВ), а з погляду дотримання дуже жорстких вимог по просторовому положенню устаткування реакторної установки (РУ), турбіни і інших агрегатів, що обертаються, а також з метою

безпеки суміжних з РВ будівель, що мають набагато менші осідання, чим РВ. Ці особливості осідань різних об'єктів і різні допустимі значення безпеки будівництва, експлуатації будівель і устаткування привело до значних труднощів в забезпеченні жорстких вимог по фіксації устаткування в просторі.

Ці вимоги викликані тим, що всі АЕС - це об'єкти підвищеної ядерної, радіаційної, пожежної, технічної і екологічної небезпеки і відповідальності. Безаварійна робота систем регулювання потужності, аварійного захисту ядерного енергоблоку, зокрема швидке введення поглинаючих стрижнів в активну зону або їх скидання, можливі при виконанні дуже жорстких конструктивних вимог до устаткування РУ, виключення перекосів, викривлень і інших змін геометричних розмірів. Це важливо і для механізмів, що обертаються. Відхилення опор підшипників валопроводів в плані і по висоті на рівні декількох мм приводить до розцентрівці роторів, підвищеної вібрації, і навіть до неможливості безпечної експлуатації турбоагрегатів.

Критерієм якості ґрунтової основи фундаментів будівель і споруд є гранично допустимі осідання і деформації в період будівництва і всього терміну експлуатації об'єкту. Гранично допустимі величини деформацій встановлюються проектом і нормативними документами.

Для оцінки стану основи і фундаментів будівель і споруд застосовуються такі характеристики як осідання між циклами спостережень, сумарне осідання з початку спостережень або будівництва, нахил фундаменту (крен) в поперечному і подовжньому напрямі, напрям крену, відносне осідання окремих несучих конструкцій споруди, а також швидкість розвитку осідань і деформацій.

Геодезичні вимірювання виконуються по фундаментах будівель і споруд ЗАЕС, на яких встановлені проектні осадкові марки. Висотною основою геодезичних досліджень служать глибинні реperi, закладені на майданчику при будівництві.

Виявлено, що фундамент турбоагрегатів випробовує складні просторові тривалі і короточасні деформації. При цьому короточасні деформації обумовлені зміною температурного стану фундаменту в перехідних режимах, а тривалі деформації пов'язані з осіданнями ґрунтової основи і повзучістю матеріалу основи. В останній час виявлено зниження швидкості розвитку деформацій фундаменту як наслідок стабілізації ґрунтової основи і процесів повзучості бетону.

Попередній аналіз результатів проведених на основі високоточних геодезичних спостережень за осіданнями фундаменту показав, що характер деформації ґрунтової основи фундаментів реакторних відділень блоків ЗАЕС, набувають загальних закономірностей. Після закінчення будівельно-монтажних і пуско-налагоджувальних робіт швидкість розвитку середнього осідання реакторних відділень інтенсивно знижувалася і на цей момент наблизилася практично до однакових величин. Швидкість приросту крену

фундаментів реакторних відділень РВ 1-4 і напрям його розвитку також мають загальні закономірності. Процес деформації основи реакторних відділень блоків 5 і 6 відрізнялися від споруд першої черги за рахунок зміни конструкції фундаментної плити шляхом збільшення розміру фундаментної плити на 1,9 м в напрямку дії ексцентриситету навантажень. Після внесення конструктивних змін деформації ґрунтової основи РВ-5 і РВ-6 відрізнялися від деформацій першої черги ЗАЕС зниженням швидкості, особливо крену. Характер розвитку осідань і крену фундаментів реакторних відділень блоків 1-6 ЗАЕС в 2009-2012 роках істотно не змінився. За останні 10 років експлуатації фундаментів енергоблоків спостерігається наростання величин загальних осідань практично з постійними швидкостями.

Висновки і перспективи подальших досліджень в даному напрямку.

Виявлені загальні закономірності розвитку характеру осідань і кренів фундаментів в динаміці, що дозволяє за допомогою кореляційно-регресійного аналізу та аналітичного вирівнювання рядів динаміки параметрів моніторингу здійснювати прогнозування розвитку наступних закономірностей: «осідання-навантаження»; «середнє навантаження-час»; «загальний крен-час»; «швидкість осідання-час»; «швидкість зміну крену-час». Визначити вплив осадочної «воронки» на характер і розмір осідань і кренів фундаментів енергоблоків 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. 3: « ИПО Запорожье», 2008.-67, 496.
3. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. ДБН В.2.1-10-2009. Затверджено наказом Мінрегіонбуду України від 19.01.2009 р. № 5.
4. ПиНАЭ 5.10-87. Основания реакторных отделений атомных станций/ Госстрой СССР.-М.1987.
5. <http://mpe.kmu.gov.ua>.
6. <http://www.npp.zp.ua>.