

УДК 331.452:624.131.5:624.15

БЕЗПЕКА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦИЙ З УРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ ФУНДАМЕНТІВ ЕНЕРГОБЛОКІВ У ПОНАДПРОЕКТНИЙ ТЕРМІН

СЕДИН В. Л.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
БАУСК Є. А.^{2*}, *с.н.с.*,
КІРНОС К. А.^{3*}, *к.т.н., доц.*
КАПЛЕНКО Г. Г.^{4*}, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра основи та фундаменти, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-34-43, e-mail: geotescprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Лабораторія досліджень атомних та теплових електростанцій науково-дослідної частини Придніпровського науково-освітнього інституту інноваційних технологій в будівництві, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: yabausk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0504-1891

^{3*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kat140379@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6410-5264

^{4*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова, 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 713-51-42 e-mail: kaplenko.galina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9545-8414

Анотація. Постановка проблеми. Атомні електростанції (АЕС) – це об'єкти підвищеної ядерної, радіаційної, пожежної, технічної та екологічної небезпеки і відповідальності. Безаварійна робота систем регулювання потужності, аварійного захисту ядерного енергоблоку можливі при виконанні дуже жорстких конструктивних вимог до конструкції реакторного відділення (РВ), виключенню перекосів, викривлень та інших змін геометричних розмірів.

Забезпечення експлуатаційної надійності технологічного устаткування будівель атомних електростанцій навіть при негативно гіпотетичних сценаріях є актуальною проблемою для економіки України. В умовах загострення енергетичних проблем в Україні підвищується зацікавленість учасників інвестиційно-експлуатаційних проектів в обґрунтуванні реалізації конкретних науково-економічних завдань, спрямованих на продовження термінів експлуатації реакторних відділень будівель атомних електростанцій. Одним з найбільш важливих технічних, технологічних і організаційних факторів, що впливають на забезпечення надійності експлуатації енергетичного обладнання споруд атомних електростанцій, безпосередньо залежить від оцінки стану осідання і кренів фундаментів енергоблоків. Проектування, будівництво та експлуатація реакторних відділень має цілий ряд принципових особливостей в порівнянні з іншими об'єктами промислового будівництва. Експлуатація конструкцій реакторного відділення визначається системою жорстких вимог щодо статичних, динамічних, сейсмічних характеристик, а також деформаційних переміщень (осідання та крени) з необхідністю забезпечення експлуатаційної надійності реакторного відділення в довготривалій міжремонтний період. Будь-яка будівля або споруда має свій проектний ресурс, проте досвід експлуатації багатьох енергетичних об'єктів показує, що при відповідних інженерних заходах він може бути значно збільшений. Тому важливим моментом є оцінка фактичного стану об'єкта з точки зору деформацій його основи і призначення адекватних ремонтних або інших заходів. **Мета.** Розробка комплексного підходу чисельного моделювання та експериментальних досліджень розвитку характеру осідань і кренів фундаментів, що дозволяє стабілізувати та здійснювати регулювання кренів фундаментів реакторних відділень для забезпечення експлуатаційної надійності та безпеки енергоблоків АЕС. **Висновок.** 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 у понадпроектний термін є актуальним завданням.

Ключеві слова: регулювання кренів фундаментів реакторних відділень АЕС, стабілізація кренів фундаментів, уклон фланцю реактора, чисельне моделювання, метод скінченних елементів

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ ЭНЕРГОБЛОКОВ В СВЕРХПРОЕКТНЫЙ СРОК

СЕДИН В.Л.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
БАУСК Е.А.^{2*}, *с.н.с.*,
КИРНОС Е.А.^{3*}, *к.т.н., доц.*
КАПЛЕНКО Г. Г.^{4*}, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-34-43, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Лаборатория исследований атомных и тепловых электростанций научно-исследовательской части Приднепровского научно-учебного института инновационных технологий в строительстве, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: yabausk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0504-1891

^{3*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42 e-mail: kat140379@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6410-5264

^{4*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова, 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 713-51-42, e-mail: kaplenko.galina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9545-8414

Аннотация. Постановка проблемы. Атомные электростанции (АЭС) - это объекты повышенной ядерной, радиационной, пожарной, технической и экологической опасности и ответственности. Безаварийная работа систем регулирования мощности, аварийной защиты ядерного энергоблока возможны при выполнении очень жестких конструктивных требований к конструкции реакторного отделения (РО), исключению перекосов, искажений и изменений геометрических размеров. Обеспечение эксплуатационной надежности технологического оборудования зданий атомных электростанций даже при негативных гипотетических сценариях является актуальной проблемой для экономики Украины. В условиях обострения энергетических проблем в Украине повышается интерес участников инвестиционно-эксплуатационных проектов в обосновании реализации конкретных научно-экономических задач, направленных на продление сроков эксплуатации реакторных отделений зданий атомных электростанций. Одним из наиболее важных технических, технологических и организационных факторов, влияющих на обеспечение надежности эксплуатации энергетического оборудования сооружений атомных электростанций, напрямую зависит от оценки состояния осадок и кренов фундаментов энергоблоков. Проектирование, строительство и эксплуатация реакторных отделений имеет целый ряд принципиальных особенностей по сравнению с другими объектами промышленного строительства. Эксплуатация конструкций реакторного отделения определяется системой жестких требований по статическим, динамическим, сейсмическим характеристикам, а также по деформационным перемещениям (осадки и крены) с необходимостью обеспечения эксплуатационной надежности реакторного отделения в длительный межремонтный период. Любое здание или сооружение имеет свой проектный ресурс, однако опыт эксплуатации многих энергетических объектов показывает, что при соответствующих инженерных мероприятиях он может быть значительно увеличен. Поэтому важным моментом является оценка фактического состояния объекта с точки зрения деформаций его основания и назначение адекватных ремонтных или других мероприятий. **Цель.** Разработка комплексного подхода численного моделирования и экспериментальных исследований развития характера осадок и кренов фундаментов, позволяет стабилизировать и осуществлять регулирование кренов фундаментов реакторных отделений для обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности энергоблоков АЭС. **Вывод.** Учитывая вышесказанное, комплексные теоретические и экспериментальные исследования абсолютных величин осадок и крена фундаментов энергоблоков, оценка характера развития осадок и деформаций во времени для дальнейшей надежной эксплуатации сооружений и технологического оборудования атомных станций в сверх проектного срока является актуальным заданием.

Ключевые слова: регулирование кренов фундаментов реакторных отделений АЭС, стабилизация кренов фундаментов, уклон фланца реактора, численное моделирование, метод конечных элементов

SAFETY OF NUCLEAR POWER PLANTS REGARDING REALIABILITY OF POWER UNITS FOUNDATIONS BEYOND THE DESIGN LIFETIME

SEDIN V. ^{1*} *Ph. D. , Prof.*,

BAUSK E. ^{2*} **, Senior Researcher,*

KIRNOS K. ^{3*} *Ph. D. , Assoc. Prof.*,

KAPLENKO G. ^{4*} *, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*

^{1*}Department of bases and foundations, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, Tel: +38 (056) 756-34-43, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Laboratory studies of nuclear and thermal power research of the Dnieper Research and Training Institute of innovative technologies in construction, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: yabausk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0504-1891

^{3*} Workplace Safety and Health Department, Dnipropetrovsk Agrarian-Economic University, 25, Voroshilov str., Dnepropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 713-51-42 e-mail: kat140379@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6410-5264

^{4*} Workplace Safety and Health Department, Dnipropetrovsk Agrarian-Economic University, 25, Voroshilov str., Dnepropetrovsk, 49600, Ukraine, tel. phone +38 (056) 7563-4-57, e-mail: kaplenko.galina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9545-8414

Annotation. Formulation of the problem. Nuclear power plants (NPP) are objects of increased nuclear, radiation, fire, technical and environmental risks and responsibility. Trouble-free operation of power control systems and emergency protection of a nuclear

power unit are possible in conditions of very strict design requirements to the construction of reactor compartment, exclusion of skew, distortion and other changes of geometrical dimensions.

Operational reliability of technological equipment of nuclear power plants buildings, even with negative hypothetical scenarios is an urgent problem for the Ukrainian economy. Modern conditions of growing energy problems increased interest of investment and operational projects participants in Ukraine in justification of specific scientific and economic tasks implementation aimed at the extension of operating life of the reactor compartments of nuclear power plants buildings. One of the most important technical, technological and organizational factors affecting reliability of power equipment construction of nuclear power plants depends on the assessment of foundations settlements and tilts of power units. Design, construction and operation of reactor compartments have a number of basic features in comparison with other objects of industrial construction. Operation of the reactor building structures is determined with a system of strict requirements for static, dynamic, seismic performances, as well as deformation movements (settlements and tilts) with the need to ensure operational reliability of the reactor compartment in a long turnaround time. Any building has its design service life, but operating experience of great number of power plants shows that appropriate engineering measures can increase it significantly. Therefore, an important point is to assess the actual state of the object in terms of its foundation deformation and appointment of appropriate maintenance or other activities. **Purpose.** Development of complex approach of numerical modeling and experimental research of the nature of foundations settlements and tilts that allows stabilizing and regulating tilts foundations of reactor compartments to ensure operational reliability and safety of nuclear power units. **Conclusion.** According to the above, a crucial task is carrying complex theoretical and experimental researches of the absolute values of foundations settlements and tilts of power units, assessment of the nature of the settlements and deformation in time for further safe operation of facilities and technological equipment of nuclear power plants beyond the design lifetime.

Keywords: foundations tilts adjustment of NPP reactor compartments, stabilization of foundations tilts, flange reactor inclination, numerical modeling, finite elements method

Постановка проблеми. Процес виводу з експлуатації ядерних енергоблоків потребує значних фінансових ресурсів, яких уряд України сьогодні немає. Представники ядерної галузі та Міністерства палива та енергетики України бачать вихід у продовженні експлуатації енергоблоків в понадпроектний термін, щоб АЕС мали змогу накопичити кошти на процес зупинки і виводу з експлуатації. Стурбованість викликають питання безпеки і фінансової рентабельності експлуатація енергоблоків в понадпроектний термін. Забезпечення надійності експлуатації енергетичного обладнання споруд атомних електростанцій, безпосередньо залежить від оцінки стану осідання і кренів фундаментів енергоблоків.

Особливості конструкцій фундаментів РВ полягають у тому, що вони навантажені і мають великі розміри, створюють великий тиск на основу, мають у декілька разів більші осідання, ніж розташовані від них на різних відстанях інші будівлі та споруди, тому питання стабілізації їх осідань та регулювання кренів для безпечної експлуатації атомних електростанцій (АЕС) має найважливіше значення.

Експлуатація споруди реакторного відділення визначається системою жорстких вимог щодо осідань і кренів фундаментів та реакторного блоку. З часом крени споруди можуть набувати недопустимих значень з точки зору небезпечної експлуатації технологічного обладнання. У таких випадках розроблюються міри щодо стабілізації деформацій основи з метою продовження терміну безпечної та надійної експлуатації споруди. Виходячи з цього дослідження взаємодії основ і великорозмірних фундаментів РВ АЕС, який супроводжується закономірним розвитком осідань і кренів фундаментних плит є актуальним для забезпечення енергетичної незалежності України.

Аналіз публікацій. Основні положення в області взаємодії фундаментів масивних споруд з основою,

враховуючи особливості основ і їх поведінку в часі, викладені в роботах: Є.А. Бауска, Ю.Л. Винникова, С.С. В'ялова, С.І. Головка, М.Н. Гольдштейна, К.С. Сгорова, Ю.К. Зарецького, М.Л. Зоценка, В.К. Капустіна, Ю.О. Кірічека, С.М. Клепікова, В.М. Макарова, В.М. Малишева, С.Р. Месчана, О.О. Петракова, В.Л. Седіна, Р.О. Тімченка, Ю.Ф. Тугаєнка, В.Г. Шаповала, В.Б. Швеця, В.С. Шокорєва та інших провідних вчених [1 -3, 5-6,13].

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

Виклад основного матеріалу. До 2050 року фахівці прогнозують збільшення потужностей світової атомної енергетики, принаймні, вдвічі, що означає будівництво кількох сотень ядерних реакторів і відповідне нарощування виробництва ядерного палива. Сьогодні центр експансії ядерної енергетики перемістився до Азії. Це Китай, Індія, Японія, Північна Корея, Тайвань. Припущення про недостатню увагу до ядерної енергетики в Європейському Союзі не відповідає дійсності. У цих країнах середній рівень частки ядерної електроенергії сягає приблизно 34-43% (тобто перебуває на рівні України). Терміни експлуатації енергоблоків ще не вичерпано, і гострої потреби в будівництві нових АЕС сьогодні не існує. Ці країни можуть зробити перерву в спорудженні АЕС і дочекатись освоєння найбільш перспективних реакторів нового типу. Відповідно, вони серйозно ставляться до участі в міжнародних проектах з їхньої розробки. З урахуванням вищевикладеного варто визнати, що задекларований урядом України курс в питанні розвитку ядерної енергетики відповідає світовим

тенденціям і, безумовно, є обґрунтованим. Світові тенденції нарощування ядерної енергетики зумовлені низкою об'єктивних факторів. Одним з них є значне подорожчання органічного палива та вичерпання його світових запасів. За оцінками експертів, розвіданих запасів нафти вистачить на 40 років, газу - на 60. Водночас запаси урану можуть забезпечити роботу наявних типів реакторів приблизно на 100 років, а перспективних типів - на 4 тис. років. Для України продовження термінів експлуатації АЕС є стратегічно важливим завданням, яке забезпечить виробництво електроенергії на досягнутому рівні до введення нових потужностей на атомних станціях при значно менших витратах. Основними передумовами для продовження ресурсу є:

- наближення терміну служби енергоблоків до встановленого проектом (до 2030 в експлуатації залишиться лише 8-9 з діючих на сьогоднішній день енергоблоків);

- значне подорожчання будівництва нових блоків АЕС (1.000.000.000 € ВВЕР 1200), при цьому вартість заходів з продовження ресурсу на 10 - 15 років одного енергоблоку оцінюється в 60.000.000 €.

Основне завдання - забезпечення надійної, безпечної та ефективної експлуатації діючих енергоблоків після вироблення планового ресурсу експлуатації (30 років). Обов'язкова умова продовження терміну експлуатації діючих енергоблоків це забезпечення рівня безпеки, відповідного чинним нормативним документам [12].

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.

Важливим елементом проектування спеціальних будівельних конструкцій атомних електростанцій є забезпечення безпеки та надійної роботи їх конструкцій. Особлива увага приділяється надійності конструкцій реакторного відділення (РВ) та фундаменту турбоагрегату.

Проектування, будівництво та експлуатація РВ має цілий ряд принципових особливостей в порівнянні з іншими об'єктами промислового будівництва. Експлуатація конструкцій реакторного відділення визначається системою жорстких вимог щодо статичних, динамічних, сейсмічних характеристик, а також деформаційних переміщень (осідання та крени) з необхідністю забезпечення експлуатаційної надійності реакторного відділення в довготривалій міжремонтний період.

Будь-яка будівля або споруда має свій проектний ресурс, проте досвід експлуатації багатьох енергетичних об'єктів показує, що при відповідних інженерних заходах він може бути значно збільшений. Тому важливим моментом є оцінка фактичного стану об'єкта з точки зору деформацій його основи і призначення адекватних ремонтних або інших заходів.

Це потребує розробки спеціальних експериментальних методів і теоретичного апарату механіки ґрунтів для опису процесів деформування основ у часі. Існуючі в даний час методи розрахунку кінцевих осідань стосовно реакторного відділення (РВ) дають завищені дані, а методи розрахунку кренів - їх занижені значення. Це пов'язано з методами оцінки стисливої товщі, недосконалістю пружних розрахункових моделей, що використовуються в нормах. В даний час відсутні адекватні аналітичні методи визначення кренів споруд.

У зв'язку з цим розробка методів розрахунку кренів фундаментів реакторних відділень для стабілізованого стану і з урахуванням часового чинника є актуальним завданням.

Нерівномірні осідання ґрунтової основи фундаменту реакторних відділень викликають крен споруди і самого реакторного апарату. Особливістю ядерних реакторів є жорстке обмеження величин кренів в період експлуатації. За нормами проектування атомних станцій, крен будівель першого класу, до яких відноситься реакторне відділення, не повинен перевищувати 0,001 (без урахування сейсмічних впливів) з моменту початку будівництва [7-9].

Аналіз результатів багаторічних спостережень за осіданнями будівель реакторних відділень АЕС показав, що з моменту повного навантаження деформації ґрунтової основи фундаменту продовжують розвиватися з постійною швидкістю, величина якої залежить від параметрів стисливості ґрунтової основи. При цьому значення швидкості осідань зберігається постійним протягом 10 ... 25 років з моменту початку експлуатації не тільки в глинистих, а й в піщаних ґрунтах, для яких не характерні тривалі деформації.

В якості основного об'єкта дослідження прийнято майданчик Запорізької АЕС (ЗАЕС), з якої отримано найбільш повний обсяг експериментів, проведені додаткові випробування ґрунтів, відпрацьована методика проведення натурних спостережень, а також апробовані і впроваджені результати цієї роботи.

Аналіз впливу деформацій ґрунтової основи фундаментів РВ на безпеку енергетичного обладнання виконаний з метою обґрунтування розрахункових методів управління та/або стабілізації деформацій крену. Аналіз виконаний за результатами прямих вимірювань ухилу головного роз'єму реактора і спостережень за осіданням і креном РВ енергоблоків № 1, 3 Запорізької АЕС.

Оцінка впливу осідань основи і крену будівлі РВ на положення реакторного апарату виконана за результатами кореляційного аналізу параметрів осадової площини РВ і площини фланця реактора енергоблоків № 1 і № 3 Запорізької АЕС. Для проведення порівняльного аналізу була виконана вибірка результатів спостережень за осіданням і вимірювань ухилів реактора. При вибірці параметрів

прийнятий єдиний початковий цикл вимірювань, а самі вимірювання відсортовані за найближчими датами.

Відхилення параметрів площини фланця реактора від площини осідання будівлі РВ становить менше 1 %, таким чином, зв'язок між параметрами абсолютно стійкий. Цей зв'язок використовується для переходу від прогнозування крену споруд РВ до прогнозу ухилу фланця головного роз'єму реактора, тобто оцінки безпеки роботи реакторної установки на період продовження експлуатації.

Відзначено, що при багаторічній експлуатації та в період продовження експлуатації енергетичного

обладнання АЕС (наприклад, корпуси реактора) оцінка впливу деформацій основи на безпеку виконується в діапазоні малих значень (не більше 10...15 % від гранично допустимих значень для споруди як будівельної конструкції). У цьому випадку виникає необхідність в адекватних розрахункових моделях ґрунтової основи, які максимально достовірно відображають напружено-деформований стан при осіданнях, близьких до умовно-стабілізованих, при їх швидкостях в діапазоні 1 - 2 мм в рік (рис. 1).

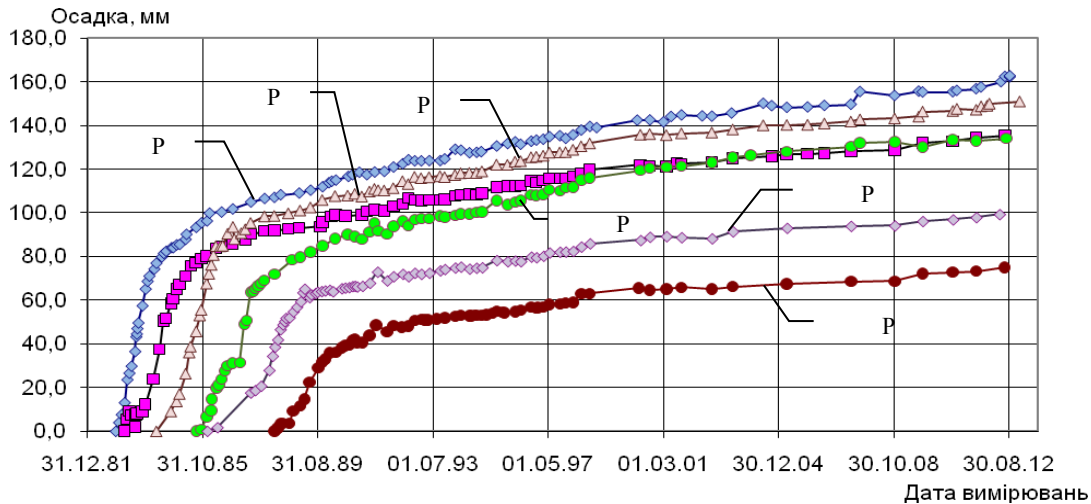


Рис. 1. Графіки розвитку осідань будівель РВ-1...6 Запорізької АЕС / Graphs of building subsidence РВ-1 ... 6 Zaporizhia nuclear power plant

На результати розрахунку кінцевих осідань великорозмірних фундаментів, до яких відносяться фундаменти реакторних відділень блоків типу ВВЕР-1000, за будь-якою з прийнятих розрахункових моделей ґрунтової основи значний вплив здійснює вибір розрахункової глибини стисливої товщі (H_c).

При розрахунку осідань вибір значення глибини стисливої товщі ускладнений тим, що величина H_c залежить від численних факторів, у тому числі від розмірів фундаменту, його форми і жорсткості, глибини закладення підшви, стану та фізико-механічних характеристик ґрунтів основи, а також характеру їх нашарування.

Натурні експериментальні дослідження великорозмірних фундаментів в різних ґрунтових умовах дозволяють удосконалювати існуючі розрахункові моделі. Для цього виконано аналіз результатів спостережень за пошаровими деформаціями ґрунтової основи реакторних відділень четвертого і п'ятого, а також першого і третього енергоблоків Запорізької АЕС.

За результатами натурних досліджень пошарових деформацій на майданчиках енергоблоків Запорізької АЕС зроблено висновок, що в стисливу товщу основи включаються і глинисті ґрунти. Деформації ґрунтової основи по глибинних марках РВ-1 і РВ-3, встановлені в 2003 році, поширюються на глибини до 45...49 м від

підшви фундаменту. Це підтверджує зроблені вище висновки.

Треба зазначити, що проведення натурно-експериментальних досліджень пов'язано з трудомісткістю процесу, необхідністю тривалих спостережень і внаслідок цього значними фінансовими витратами, а також різними факторами, які потрібно враховувати в механіці ґрунтів. Тому поряд з натурно-експериментальними дослідженнями був використаний теоретичний метод чисельного моделювання для досліджень деформацій основ фундаментів будівель реакторних відділень АЕС, для обґрунтування технічних рішень по стабілізації кренів в діапазоні малих деформацій основи.

Проведені чисельні дослідження, з використанням програмного комплексу «ЛІРА-САПР 2011 PRO» (ліцензія № 1д/2273), спрямовані на розробку математичної моделі фундаменту споруди реакторного відділення спільно з ґрунтовим масивом основи, показали, що при збільшенні глибини моделі відбувається збільшення переміщень точок плити. При цьому порівняння результатів розрахунку осідань у різних точках вказує на те, що переміщення плити відбуваються нерівномірно, тобто відбувається крен конструкції.

У результаті чисельного моделювання були отримані розрахункові значення теоретичних воронки осідань основи фундаменту реакторного

відділення і машинного залу.

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.

Порівняльний аналіз показав, що кількісні характеристики отриманих теоретичних воронки осідань аналогічні даним експериментальних спостережень за осіданнями і кренами фундаментів реактора № 1 ЗАЕС.

На підставі вищевикладеного був зроблений висновок, що методика чисельного модулювання може бути використана для подальших досліджень, які з різних причин не можуть бути виконані експериментальними методами [10,11].

У завдання чисельного розрахунку входила оцінка можливих деформацій основи при зведенні привантаження на РВ. Отримані з використанням запропонованої методики результати розрахунку зміни стабілізованих значень осідання і крену для РВ-3 наведені на рис. 2.

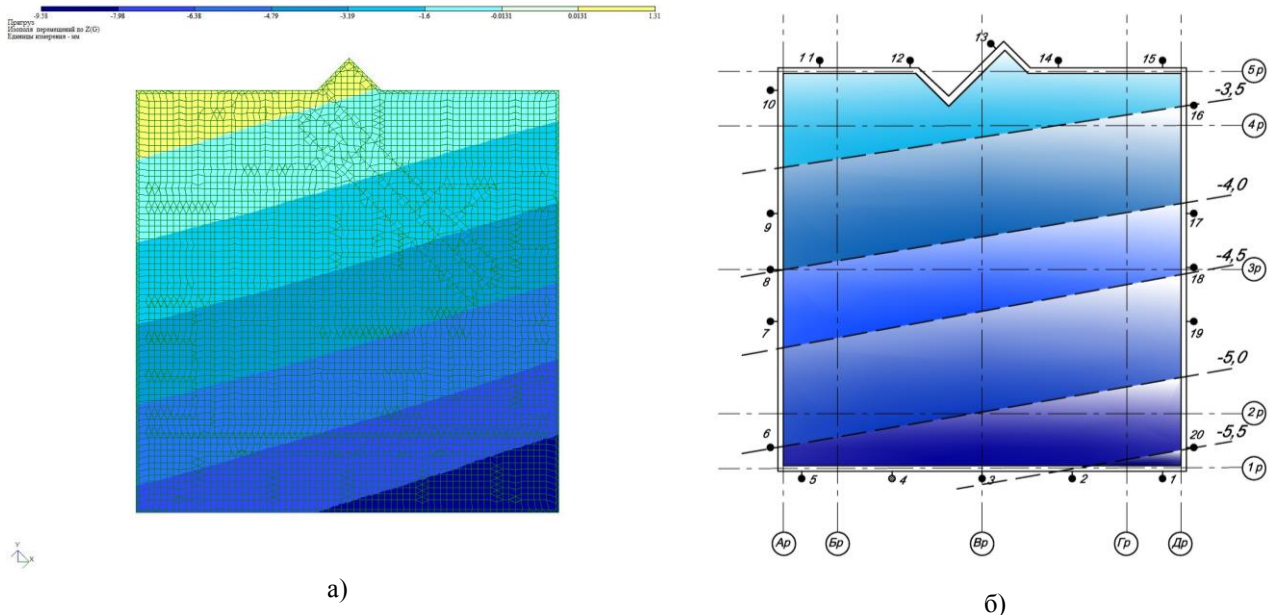


Рис. 2. Прироцнення осідань фундаментної плити РВ-3 від привантаження згідно з розрахунком (а) та за результатами геодезичних спостережень (б)/ Increment subsidence base plate РВ-3 from pryvantazhennya according to the calculation (а) and the results of geodetic observations (b)

Напрямок та розподіл ліній рівних осідань основи фундаменту будівлі РВ від дії привантаження за результатами перевірного розрахунку і результатів геодезичних спостережень за період дослідної експлуатації збігаються.

Аналогічні результати отримані і для РВ-1. Запропонована методика чисельного моделювання використана для регулювання кренів корпусів реакторів за допомогою залізобетонного привантаження. Загальна маса привантаження склала 2287,5 т для РВ-1 та 4200 т для РВ-3.

Висновки. В умовах загострення енергетичних проблем в Україні підвищується зацікавленість учасників інвестиційно-експлуатаційних проектів в обґрунтуванні реалізації конкретних науково-економічних завдань, спрямованих на забезпечення безпеки експлуатаційної надійності реакторних відділень будівель атомних електростанцій у понадпроектний термін. Одним з найбільш важливих технічних, технологічних і організаційних факторів, що впливають на забезпечення надійності експлуатації енергетичного обладнання споруд атомних

електростанцій, безпосередньо залежить від оцінки стану осідання і кренів фундаментів енергоблоків. 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.

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.

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

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зализский А. Г. Деформации оснований реакторного отделения АЭС и их регулирование в процессе строительства и эксплуатации : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.02 / Александр Григорьевич Зализский. – Санкт-Петербург, 2007. – 155 с.
2. Егоров К. Е. Особенности деформации оснований реакторных отделений АЭС / К. Е. Егоров, Н. С. Соколов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1985. – № 4. – С. 14-17.
3. Энергетика: історія, сучасність і майбутнє. В 5 т. – Київ : [б. в.], 2006-2013. – Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т. О. Бурячок, З. Ю. Буцьо, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовської, В. А. Жовтянський ; наук. ред. В. Н. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. – 2013. – 390 с
4. Кірнос К. А. Стабілізація та регулювання кренів фундаментів реакторних відділень атомних електростанцій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.02 «Основи та фундаменти» / Е. А. Кірнос. – Дніпропетровськ, 2014. – 24 с.
5. Костенко С. П. Удосконалення нормативної бази з довгострокової експлуатації та управління старінням енергоблоків АЕС / С. П. Костенко // Ядерна та радіаційна безпека. – 2015. – № 1(65). – С. 23-25.
6. Кушнер С. Г. Расчет деформаций оснований зданий и сооружений / С. Г. Кушнер. – Запорожье : ИПО «Запорожье», 2008. – 490 с.
7. Мониторинг строительных конструкций атомных станций : РД ЭО 1.1.2.99.0624-2011 / ОАО "Концерн Росэнергоатом". – Введ. 20.12.2011 ; взамен РД ЭО 0624-2005. – Режим доступа: http://www.prom-electric.ru/data/uploads/RD/RD_EO_1.1.2.99.0624-2011.doc.
8. Основания реакторных отделений атомных станций : ПиНАЭ-5.10-87 / М-во атом. энергетики СССР. – Москва : Строиздат, 1986. – 52 с. – (Правила и нормы в атомной энергетике).
9. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Вид. офіц. – Чинні від 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
10. Седін В. Л. Чисельне моделювання деформацій основи фундаментів енергоблоків АЕС / В. Л. Седін, Є. А. Бауск, К. А. Кірнос // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 1998 - . – Вып. 69 . – 2013. – С. 459-462. – (Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения).
11. Sedin V.L. Numerical strain modeling of foundations bed in the NPP units / V.L. Sedin, E.A. Bausk, K.A. Kirnos // Chemia i chemiczne technologie / Przemysl, Nauka i studia. – 2013. – №35 (103) 2013. – P. 44-48.
12. Халімончук В. А. Функціонування програмного забезпечення СВРК ВВЕР – 1000 верхнього рівня в умовах реалізації в Україні розширеної програми з диверсифікації ядерного палива / Халімончук В. А. // Ядерна та радіаційна безпека. – 2015. – № 1 (65). – С. 7-12.
13. Фундаменты промышленных, гражданских и транспортных сооружений на слоистых грунтовых основаниях / [Швец В. Б., Шаповал В. Г., Петренко В. Д., Андреев В. С., Селихова Т. А., Тюткин Т. А.]. – Днепропетровск : Новая идеология, 2008. – 274 с.

REFERENCES

1. Zalizskiy A. G. Deformatsii osnovaniy reaktornogo otdeleniya AES i ih regulirovanie v protsesse stroitelstva i ekspluatatsii : dis. ... kand. tehn. nauk : spets. 05.23.02 / A. Aleksandr Grigorevich Zalizskiy. – Sankt-Peterburg, 2007. – 155 s.
2. Egorov K. E. Osobennosti deformatsii osnovaniy reaktornykh otdeleniy AES / K. E. Egorov, N. S. So-kolov // Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. – 1985. – # 4. – S. 14-17.
3. Enerhetyka: istoriya, suchasnist' i maybutnye. V 5 t. – Kyiv : [b. v.], 2006-2013. – Kn. 5 : Elektroenerhetyka ta okho-rona navkolyshn'oho seredovyschcha. Funktsionuvannya enerhetyki v suchasnomu sviti / T. O. Buryachok, Z. Yu. But's'o, H. B. Varlamov, S. V. Dubov's'koy, V. A. Zhovtyans'kyy ; nauk. red. V. N. Klymenko, Yu. O. Landau, I. Ya. Sihal. – 2013. – 390 s
4. Kirnos K. A. Stabilizatsiya ta rehulyuvannya kreniv fundamentiv reaktornykh viddilen' atomnykh elektro-stantsiy : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk : spets. 05.23.02 «Osnovy ta fundamenti» / E. A. Kirnos. – Dnipropetrov's'k, 2014. – 24 s.
5. Kostenko S. P. Udostkonalyuvannya normatyvnoyi bazy z dovhostrokovoyi ekspluatatsiyi ta upravlinnya sta-rinnyam enerhobloktiv AES / S. P. Kostenko // Yaderna ta radiatsiyana bezpeka. – 2015. – # 1(65). – S. 23-25.
6. Kushner S. G. Raschet deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy / S. G. Kushner. – Zaporozhe : IPO «Zaporozhe», 2008. – 490 s.
7. Monitoring stroitelnykh konstruksiy atomnykh stantsiy : RD EO 1.1.2.99.0624-2011 / ОАО "Koncern Rosenergoatom". – Vved. 20.12.2011 ; vzamen RD EO 0624-2005. – Rezhim dostupa: http://www.prom-electric.ru/data/uploads/RD/RD_EO_1.1.2.99.0624-2011.doc.
8. Osnovaniya reaktornykh otdeleniy atomnykh stantsiy : PiNAE-5.10-87 / M-vo atom. energetiki SSSR. – Moskva : Stroizdat, 1986. – 52 s. – (Ppavila i nopmyi v atomnoy enepgetike).
9. Ob"yekty budivnystva ta promyslova produktsiya budivel'noho pryznachennya. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennya proektuvannya : DBN V.2.1-10-2009. – Vyd. ofits. – Chynni vid 2009-07-01. – Kyiv : Minrehionbud Ukrayiny, 2009. – 107 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrayiny).
10. Syedin V. L. Chysel'ne modelyuvannya deformatsiy osnovy fundamentiv enerhobloktiv AES / V. L. Syedin, Ye. A. Bausk, K. A. Kirnos Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : sb. nauch. tr. / Pridnepr. gos. akad. str-va i arhitektury ; pod obsch. red. V. I. Bolshakova. – Dnepropetrovsk, 1998 - . – Vyip. 69 . – 2013. – S. 459-462. – (Innovatsionnyie tehnologii zhiznennogo tsikla ob'ektov zhilishchno-grazhdanskogo, promyishlennogo i transportnogo naznacheniya).
11. Sedin V.L. Numerical strain modeling of foundations bed in the NPP units / V.L. Sedin, E.A. Bausk, K.A. Kirnos // Chemia i chemiczne technologie / Przemysl, Nauka i studia. – 2013. – №35 (103) 2013. – P. 44-48.
12. Khalimonchuk V. A. Funktsionuvannya prohrannoho zabezpechennya SVRK VVER – 1000 verkh'n'oho rivnya v umovakh realizatsiyi v Ukrayini rozshyrenoyi prohramy z dyversyfikatsiyi yadernoho palyva / Khalimonchuk V. A. // Yaderna ta radiatsiyana bezpeka. – 2015. – # 1 (65). – S. 7-12.
13. Fundamenti promyishlennykh, grazhdanskih i transportnih sooruzheniy na sloistykh gruntovykh osno-vaniyah / [Shvets V. B., Shapoval V. G., Petrenko V. D., Andreev V. S., Selihova T. A., Tyutkin T. A.]. – Dnepro-petrovsk : Novaya ideologiya, 2008. – 274 s.