

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ГРАНИЧНОЇ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ПРИ КВАЛІФІКАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ АЕС НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ

Розглянута актуальність проблеми проведення кваліфікації обладнання АЕС на сейсмостійкість. У статті коротко описані діючі методи, за якими відбувається розрахунок на підтвердження сейсмостійкості. Виявлений ряд недоліків при експериментальній оцінці сейсмічного впливу. Приведена послідовність проведення кваліфікації за допомогою методу граничної сейсмостійкості. Проаналізовані переваги даного методу. По результатам проведеного аналізу зроблено висновок, що оптимальним вибором по витратам і за оперативністю на сьогоднішній день представляється метод граничної сейсмостійкості.

Ключові слова: кваліфікація обладнання АЕС, метод граничної сейсмостійкості, власна частота, ВВЕР-1000.

Вступ

Особливістю проведення кваліфікації обладнання для АЕС є те, що потрібно забезпечити не тільки міцність конструкції, а й підтвердити гарантоване виконання функцій всіх систем важливих для безпеки.

Особливий інтерес представляють методи оцінки кваліфікації обладнання на сейсмостійкість діючих АЕС, оскільки багато з них були спроектовані або без урахування можливих сейсмічних впливів, або за застарілими нормативними вимогами до сейсмостійкості. Ще до аварії на японській АЕС «Фукусіма-1» у світі спостерігалось поступове підвищення жорсткості норм сейсмостійкості атомних станцій. На сьогоднішній день потрібно забезпечувати стійкість до землетрусів будь якої АЕС, навіть якщо в районі її розміщення не буває помітних сейсмічних проявів.

Кваліфікація обладнання - це підтвердження того, що конструкція, система (елемент) в межах всього терміну служби буде виконувати покладені функції як при нормальній експлуатації, так і при проектних аваріях з урахуванням характеристик середовища, в якому функціонує система (елемент) [1].

Цілі і задачі. На сьогоднішній день методи для оцінки сейсмостійкості, обладнання встановленого на АЕС, не дозволяють врахувати особливості їх розташування після монтажу. Таким чином дана стаття присвячена обґрунтуванню використання методу граничної сейсмостійкості, який дає можливість уникнути вищенаведених недоліків.

Матеріали і результати досліджень. Оцінка сейсмостійкості (кваліфікація на сейсмостійкість) обладнання, може проводитися різними способами:

- розрахунковими;
- розрахунково-експериментальними;
- непрямыми методами на основі отриманих раніше результатів.

Всі перераховані способи включають процедури збору та аналізу проектної документації: креслеників, паспортів обладнання, на якому раніше проводилися розрахунки на сейсмостійкість, протоколів випробувань на сейсмостійкість в лабораторних умовах і т. д..

Для обладнання, що має зовнішні механічні зв'язки, трубопровідну обв'язку, встановлену на проміжних металоконструкціях, необхідно робити додаткову розрахунково-експериментальну оцінку сейсмостійкості, оскільки достовірно врахувати вплив взаємозв'язків на його динамічні характеристики тільки розрахунковим шляхом практично неможливо.

Розрахунковим шляхом неможливо встановити резонансні частоти (а тим більше характеристики згасання резонансних коливань) обладнання в реальних умовах його монтажу, розкріплення та обв'язки.

Важливим моментом є те, що сейсмічні навантаження носять резонансний характер, чим обумовлена їх виняткова потенційна небезпека, тому відносний рівень деформацій при резонансних коливаннях призводить або до руйнування елементів конструкцій та обладнання, або викликає прояв ефектів втомного пошкодження матеріалів, які важко виявити без використання спеціальних методів. У атомному машинобудуванні накопичений величезний досвід забезпечення сейсмостійкості конструкцій і устаткування АЕС різного призначення та розроблено відповідні методи обстеження та атестації [2].

Основні методи визначення власних частот коливань і їх декрементів згасання традиційно діляться на дві категорії: розрахункові та експериментальні. Перші можуть застосовуватись тільки на стадії проектування, тому не можуть врахувати всі особливості реального стану елементів устаткування і конструкцій після їх монтажу. Експериментальні методи можна розділити на кілька категорій.

Лабораторні методи з використанням вібростендів. При модельних випробуваннях на зменшених копіях обладнання технологічних систем, присутні суттєві недоліки:

- складність проблем вибору та обґрунтування надійних критеріїв масштабного і динамічного моделювання;
- виникають об'єктивні похибки і відхилення від реальних умов, викликані неможливістю чітко відтворити і змодельовати всі елементи, вузли і динамічні зв'язки складних багатокомпонентних систем;
- неможливість врахувати всі технологічні допуски, якими супроводжується монтаж реального обладнання та технологічних систем.

Динамічні дослідження при імітації сейсмічних впливів за допомогою ґрунтових вибухів. До недоліків даного моделювання можна віднести:

- такі дослідження, як за технічними можливостями, так і з умови непошкодження випробуваного обладнання проводяться при слабких силових впливах, на порядок менших, ніж реальні сейсмічні впливи при землетрусах на рівні проектних землетрусів;
- повномасштабні випробування технологічних збірок на реальні сейсмічні впливи на спеціальних сейсмозривних полігонах є тривалими, трудомісткими і дорогими. Тому, зважаючи на витрати, їх не можуть розглядати як метод натурної перевірки сейсмостійкості обладнання.

У якості альтернативи таким складним і дорогим способам визначення сейсмостійкості, у США була розроблена методика граничної сейсмостійкості (МГС).

Відповідно до вимог розділів 5 і 8 СТП 0.03.082-2009 «Кваліфікація обладнання, важливого для безпеки, на сейсмічні впливи. Загальні вимоги» сейсмічна оцінка елементів АЕС виконується на основі вимог вітчизняних нормативних документів, з урахуванням сучасних міжнародних підходів, а також рекомендацій документів МАГАТЕ[4]. Одним з таких підходів є метод граничної сейсмостійкості, що використовується у світовій практиці для сейсмічної переоцінки блоків АЕС, у тому числі з реакторами ВВЕР

Розрахунковий аналіз сейсмостійкості елементів діючих АЕС в рамках МГС проводиться з метою визначення інтегрального параметра сейсмостійкості HCLPF, що характеризує рівень сейсмічної стійкості цього елемента. Параметр HCLPF, який виражається в одиницях прискорення вільного падіння g , порівнюється з величиною максимального прискорення на ґрунті (ZPGARLE), яка визначається для майданчика АЕС і характеризує інтенсивність землетрусу [3].

У практичних розрахунках для обчислення величини HCLPF використовують так званий коефіцієнт сейсмічного запасу FS, який показує у скільки разів потрібно збільшити інтенсивність сейсмічного впливу на ґрунті, щоб досягти допустимої величини оцінюваного параметра:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{(D_S^2 + D_{SAM}^2)^{1/2} + \delta C_S} \quad (1)$$

де C - значення допустимого параметра (наприклад, допустимі напруження, МПа);

D_{NS} - внесок в оцінюваний параметр всіх несейсмічних навантажень, що входять у комбінацію навантажень;

D_S - внесок в оцінюваний параметр сейсмічних інерційних навантажень;

D_{SAM} - внесок в оцінюваний параметр навантажень від сейсмічного зсуву опор;

δC_S - зниження величини допустимого параметра через дії сейсмічного навантаження (наприклад, міцність стіни по відношенню до зсувних навантажень може бути зменшена вертикальним розтягуючим навантаженням на цю стіну, викликаним сейсмічною подією).

Формула (1) справедлива, якщо величини, що знаходяться в знаменнику формули (1.1), визначаються на основі лінійно-пружного розрахунку. У цьому випадку величина параметра HCLPF в розмірності максимального прискорення землетрусу на майданчику АЕС g , яке може витримати розглянутий елемент, визначається співвідношенням:

$$HCLPF = FS \cdot F_\mu \cdot PGA_{RLE}, \quad (2)$$

де F_μ - безрозмірний коефіцієнт непружного поглинання енергії, який визначається відповідно до таблиці 1;

PGA_{RLE} - прискорення нульового періоду (пікове прискорення), g .

Таблиця 1. Рекомендовані значення безрозмірного коефіцієнта непружного поглинання енергії F_{μ} для оцінки сейсмостійкості існуючих АЕС

Тип конструкції, системи чи компонента	F_{μ}
Бетонні колони з переважанням деформації вигину	1,25
Бетонні балки з переважанням деформації вигину	1,5
Сталеві колони з переважанням деформації вигину	1,25
Сталеві колони з переважанням деформації зсуву	1,00
Сталеві балки з переважанням деформації вигину	1,50
Сталеві вузли (з'єднання)	1,00
Зварні сталеві трубопроводи,	1,50
Опори трубопроводів	1,25

Методи, які застосовуються в рамках МГС для визначення сейсмічної реакції конструкцій, систем і устаткування вибираються залежно від динамічних характеристик об'єкта і особливостей його системи опор. У розрахункових моделях, в основному, використовують два методи для визначення динамічної реакції при землетрусі.

Статичний метод розрахунку на сейсмостійкість - спрощений метод, згідно з яким розподіл сейсмічних навантажень, що діють на конструкцію, приймається подібним розподілу маси, а величини цих навантажень визначаються за допомогою нормативних коефіцієнтів. Обмежується обладнанням та компонентами, які мають першу власну частоту коливань вище 20 Гц [5].

Лінійно-спектральний метод передбачає проведення модального аналізу конструкції. На цьому етапі визначаються форми і частоти власних коливань, включаючи характерну частоту F_{\max} , яка відповідає прискоренню нульового періоду. Оптимальним вибором за витратами і оперативністю на сьогоднішній день являються динамічні неруйнівні дослідження конструкцій та обладнання безпосередньо на діючих об'єктах в реальних умовах монтажу, розкріплення та обв'язки. У ході таких випробувань здійснюється запис акселерограм коливань елементів у трьох напрямках, що відповідають можливим модам власних коливань з наступною цифровою обробкою. По резонансним пікам спектрів потужності визначаються власні частоти коливань і їх декременти.

Далі, система завантажується інерційним навантаженням по кожній з обчислених форм коливань і для кожного просторового напрямку сейсмічного впливу. При цьому для кожної з форм коливань і напрямків сейсмічного впливу визначається повний відгук системи: розподіл внутрішніх зусиль, переміщення і реакції опор і т.д..

При використанні лінійно-спектрального методу в якості вихідної сейсмічної події приймаються поверхові спектри, обчислені на основі динамічного аналізу основних будівель і споруд. Для розрахунків трубопроводів, як правило, використовуються розширені огинаючі спектри [6].

При побудові розрахункової моделі особлива увага приділяється особливостям розкріплення та трасування трубопроводів. Спочатку для побудованої розрахункової моделі проводиться порівняння вагових характеристик з масою реальної конструкції. Після уточнення вагових характеристик проводиться розрахункове визначення характеристик власних коливань (частот і форм), результати якого порівнювалися з експериментально отриманими (в розгляд приймаються частоти з $v < 33$ Гц). При розбіжності розрахункових і експериментальних даних у розрахункову модель вносяться зміни з метою "підгонки" її властивостей під властивості реальної конструкції (припустима різниця значень нижчих власних частот - 1 Гц) [2]. Після цього розрахункова модель вважається готовою для проведення динамічного аналізу.

Побудова моделі за методологією граничної сейсмостійкості, має ряд суттєвих переваг у порівнянні з звичайними методами:

- виконується повноцінний спільний аналіз сейсмостійкості технологічної системи в цілому, з урахуванням взаємного впливу її елементів один на одного;
- враховується вплив приєднаних трубопроводів на характеристики власних коливань обладнання. Для масивного обладнання ступінь цього впливу може бути і несуттєвою, а для порівняно невеликого обладнання (вагою до однієї тони) зміна жорсткості може бути досить значною. Отже, фактична завантаженість обладнання при сейсмічних впливах може бути збільшена в порівнянні з розрахунком, проведеним на стадії проектування обладнання.

Висновки

Забезпечення безпеки АЕС має бути пріоритетним напрямом діяльності при проектуванні, будівництві і експлуатації енергоблоків. Оцінка кваліфікації обладнання на сейсмостійкість за допомогою МГС, який

рекомендований МАГАТЄ, є одним з найбільш достовірних методів підтвердження працездатності обладнання. До того ж він дозволяє значно скоротити витрати на обґрунтування сейсмостійкості АЕС, у порівнянні зі звичайними методами, такими як, повне перерахування за нормами проектування або проведення масових експериментальних досліджень на блоках.

Список використаної літератури

1. СТП 0.03.082-2009. Стандарт підприємства. Кваліфікація обладнання, важного для безпеки, на сейсмічні впливи. Общие требования.
2. Кравец С. Б. Оценка сейсмостойкости технологических систем атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 2005.-170 с.
3. МТ-Т.0.03.326.13. Методика расчетного анализа сейсмостойкости элементов действующих АЭС в рамках метода граничной сейсмостойкости.
4. Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installation // Safety Standards Series № NSG2.13, IAEA, Vienna, 2009
5. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
6. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. СПб: Наука, 1998 – 350 с.

V. Konshyn, T. Piankov

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

JUSTIFICATION FOR THE USE THE METHODOLOGY OF SEISMIC MARGIN ASSESSMENT AT QUALIFICATION OF NPP EQUIPMENT SEISMIC RESISTANCE

Relevance problems of nuclear equipment qualification for seismic resistance are presented in this article. The article shortly describes the current methods, which are used to confirm the seismic resistance. Identified a number of shortcomings in the experimental evaluation of seismic resistance. The sequence of the qualification by the method of seismic margin assessment is shown. The advantages of this method. According to the analysis the optimal choice between cost and efficiency is the method of seismic stability boundary.

Keywords: qualification of nuclear power plant equipment, pipelines, method of seismic margin assessment, free frequency, PWR.

References

1. STP 0.03.082-2009. enterprise standard. Qualifications of equipment important to safety, seismic effects. General requirements.
2. Kravets S. Estimation of seismic stability of technological systems of nuclear power plants. М.: Energoatomisdat, 2005.-170p.
3. МТ Т.0.03.326.13. Method of calculation of seismic stability analysis of elements of existing nuclear power plants by the method of boundary seismic resistance.
4. Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installation // Safety Standards Series № NS-G-2.13, IAEA, Vienna, 2009
5. PNAE G-7-002-86. Standards based on the strength of the equipment and pipelines of nuclear power plants.
6. Birbayer A. Computation of seismic stability of constructions. SPb: Nauka, 1998 – 350p.

В.И. Коньшин, канд. техн. наук, доц., **Т.А. Пьянков**, магистрант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ГРАНИЧНОЙ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПРИ КВАЛИФИКАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

Рассмотрена актуальность проблемы проведения квалификации оборудования АЭС на сейсмостойкость. В статье кратко описаны действующие методы, по которым происходит расчет на подтверждение сейсмостойкости. Выявлен ряд недостатков при экспериментальной оценке сейсмостойкости. Показана последовательность проведения квалификации с помощью метода граничной сейсмостойкости. Проанализированы преимущества данного метода. По результатам проведенного анализа, сделан вывод, что оптимальным выбором по затратам и оперативности на сегодняшний день представляется метод граничной сейсмостойкости.

Ключевые слова: квалификация оборудования АЭС, трубопроводы, метод предельной сейсмостойкости, собственная частота, ВВЭР 1000.

Надійшла 22.02.2016

Received 22.02.2016