

РИЖОВ Д.І., ШУТАЙЛО О.П., ШУТАЙЛО О-Р.П., КРИЦЬКИЙ В.Б.

Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки
Держатомрегулювання України
м. Київ, Україна

УДК 621.039.58

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МІЖНАРОДНИХ ПІДХОДІВ ТА ВИМОГ ДО СЕЙСМОСТІЙКОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОЦІНЦІ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС З УРАХУВАННЯМ УРОКІВ АВАРІЇ НА АЕС ФУКУСИМА-1 В ЯПОНІЇ

Ключевые слова: АЕС, землетрус, сейсмостійкість, конструкції, системи, елементи.

Розглянуті сучасні міжнародні підходи до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АЕС з урахуванням уроків аварії на АЕС Фукусіма-1 в Японії. Вказані підходи будуть враховані при перегляді національних норм та правил щодо сейсмостійкості енергоблоків АЕС

Рассмотрены современные международные подходы к сейсмостойкому проектированию и оценке сейсмической опасности энергоблоков АЭС с учетом уроков аварии на АЭС Фукусима-1 в Японии. Указанные подходы будут учтены при пересмотре национальных норм и правил по сейсмостойкости энергоблоков АЭС

The modern international approaches to earthquake designing and seismic hazard assessment for nuclear power units were analysed, taking into account the lessons of the accident at Fukushima-1 NPP in Japan. These approaches will be considered in the review of national regulations for earthquake resistance of nuclear power units.

ВСТУП

11 березня 2011 року на АЕС Фукусіма-1 у Японії сталася важка аварія внаслідок землетрусу та викликаного ним цунамі. Події на АЕС Фукусіма-1 поставили перед ядерним співтовариством низку нагальних питань щодо виконання детального аналізу причин аварії й вивчення її уроків, розробки й реалізації заходів щодо запобігання виникненню важких аварій, тощо. Необхідність проведення поглибленої позачергової переоцінки стану безпеки енергоблоків АЕС України (проведення «стрес-тестів») було підкреслено урядом України.

НОВІТНІ МІЖНАРОДНІ ПІДХОДИ ДО СЕЙСМОСТІЙКОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС

Ключовим питанням при виконанні «стрес-тестів» була переоцінка сейсмостійкості АЕС України з урахуванням сучасних міжнародних вимог, рекомендацій МАГАТЕ, вимог ENSREG (Об'єднання європейських атомних регуляторів), Комісії ядерного регулювання США (US NRC), тощо. Діючий в Україні документ, що містить вимоги до проектування сейсмостійких АЕС - ПНАЭ Г-5-006-87 [1], не враховує сучасний рівень знань, набутий досвід та практику і на даний час переглядається Держатомрегулюванням України і ДНТЦ ЯРБ.

З урахуванням сучасних підходів до сейсмічного аналізу споруд, систем та компонентів (ССК), уроків впливів потужних землетрусів на ядерні об'єкти (передусім – в Японії) відмічено низку основних положень, які представлені нижче і повинні враховуватись при перегляді нормативних документів.

За результатами аналізу впливу потужних землетрусів на ядерні об'єкти, зокрема в Японії, необхідно відмітити, що рівень фактичних сейсмічних впливів може переви-

щувати проектний [3-5]. Недооцінка в проекті сейсмічної небезпеки може призводити до відомих для всіх сумних наслідків. Аналізуючи наслідки цих землетрусів, доцільним при формуванні національних вимог виглядає врахування наступних основних аспектів:

- ретельний аналіз та переоцінка (за необхідності) проектних основ АЕС, що знаходяться на узбережжях морів, водоймищ і для яких існує ймовірність затоплення;
- улаштування мобільних установок пожежогасіння та подачі електроенергії;
- ретельний аналіз й врахування вторинних ефектів впливів землетрусів на ядерні установки (ЯУ);
- врахування ефектів старіння при проектуванні та сейсмічній кваліфікації ССК, тощо.

Визначення проектних основ коливань ґрунту при землетрусі має виконуватися з використанням як детерміністичного, так і імовірнісного підходів. Рекомендується визначати проектні сейсмічні характеристики як на вільній поверхні ґрунту (традиційний підхід), так і на рівні фундаментів споруд для врахування ефекту заглибленості конструкцій в ґрунт і врахування взаємного впливу «ґрунт - конструкція».

Для запобігання недооцінки в проекті потенційних сейсмічних впливів, зокрема доцільним може бути визначення певних сейсмічних запасів.

В сучасній світовій практиці такий підхід застосовується при проектуванні нових енергоблоків АЕС: в США [6] максимальні прискорення на рівні ґрунту для землетрусу SSE (Safe Shutdown Earthquake, що відповідає МРЗ) збільшуються в 1,67 разів; в Європі [7], для елементів, що є критичними для забезпечення безпеки АЕС, запас має складати 40% від визначеного для майданчика АЕС рівня горизонтальної складової максимального розрахункового землетрусу (МРЗ).

В українській практиці підхід щодо встановлення коефіцієнту безпеки/запасу на рівні 30% до значення пікового прискорення на рівні ґрунту вже використано при уточненні сейсмічності майданчику Южно-Української АЕС.

Доцільним є також впровадження в практику розгляду землетрусу з меншою ймовірністю виникнення (наприклад, якщо згідно з національними нормами рівень МРЗ встановлюється для ймовірності його виникнення 10-4 1/рік, то для цілей визначення запасу розглядати землетрус з ймовірністю виникнення 10-5 1/рік). При цьому, можуть бути встановлені менш консервативні критерії прийнятності при проведенні розрахунків (наприклад, допускаються певні пластичні деформації ССК при землетрусі, за умови недопущення «порогових» ефектів («cliff-edge effects»)

Засоби сейсмічної ізоляції ССК, зокрема фундаментів споруд АЕС, актуальні для майданчиків з високим рівнем сейсмічної небезпеки. Таким чином можливо суттєво знизити рівні впливів можливих потужних землетрусів на конструкції.

Кваліфікація ССК загальнопоширеними методами аналізу, випробувань (прямі методи) та досвіду експлуатації (непрямий метод) на встановлений рівень сейсмічних впливів (кваліфікаційних вимог) є необхідною для всіх елементів АЕС, що виконують критичні функції безпеки. В даний час сейсмічна кваліфікація КСЕ виконується для всіх енергоблоків АЕС України.

Такі конструкції, як резервуари з рідиною, басейни

витримки ВЯП, підземні конструкції потребують врахування додаткових ефектів, спричинених землетрусом: гідродинамічні ефекти від коливання та розплескування рідини, додаткове навантаження від ґрунту, врахування стабільності ґрунту, тощо.

Всі перелічені вище аспекти безумовно знайдуть своє відображення у національних вимогах до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АЕС України, які на цей час знаходяться в стадії розробки.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

За даними проектної документації для всіх енергоблоків АЕС України, встановлених в проекті рівень сейсмічності майданчику складає:

- проектний землетрус (ПЗ) – 5 балів;
- максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ) – 6 балів.

Вихідна сейсмічність майданчиків АЕС України при проектуванні встановлено відповідно до мапи сейсмічного районування СРСР (ОСР-78). Існуючі на момент початку проектування вимоги до оцінки геолого-тектонічних умов та сейсмічної небезпеки АЕС при розміщенні в п'ятибальній зоні не передбачали спеціальних польових геофізичних вишукувань, а сейсмічні розрахунки будівель, обладнання та трубопроводів виконувались згідно з чинними на той час нормативними документами. Інформація про використані в проекті методи розрахункових досліджень, прийнятих вихідних даних та їх достовірності, практично недоступна. І в цій ситуації актуальним стає питання оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АЕС, що знаходяться в експлуатації з урахуванням сучасного рівня науки і техніки.

В сучасній світовій практиці [8] існує два основні підходи до виконання оцінки або переоцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АЕС, що знаходяться в експлуатації - імовірнісний (сейсмічний ІАБ) та детерміністичний, який в свою чергу може бути розділений на:

- 1) метод прямого розрахунку сейсмостійкості обладнання, трубопроводів, споруд та конструкцій
- 2) оцінка граничної сейсмостійкості (Seismic Margin Assessment - SMA).

До цього часу в Україні широко застосовувався саме метод прямого розрахунку сейсмостійкості, а виконання сейсмічного ІАБ та SMA лише заплановані до використання.

Оцінка сейсмічної безпеки АЕС за допомогою імовірнісного методу полягає у виконанні наступних основних етапів:

- 1) Аналіз ризиків (Hazard Analysis) - визначення ймовірності виникнення сейсмічних коливань ґрунту на обраному майданчику АЕС;
- 2) Визначення спектрів відгуку конструкцій на сейсмічні впливи різної інтенсивності для виконання аналізу відмов елементів;
- 3) Аналіз систем (Systems Analysis) - ідентифікація систем безпеки, необхідних для попередження пошкодження активної зони реактору;
- 4) Проведення інспекцій (сейсмічних обходів АЕС);
- 5) Аналіз «руйнівності» (Fragility Analysis) - визначення ймовірності відмови елементів, важливих для безпеки, як функції залежності від коливань ґрунту.
- 6) Інтеграція інформації щодо сейсмічних впливів,

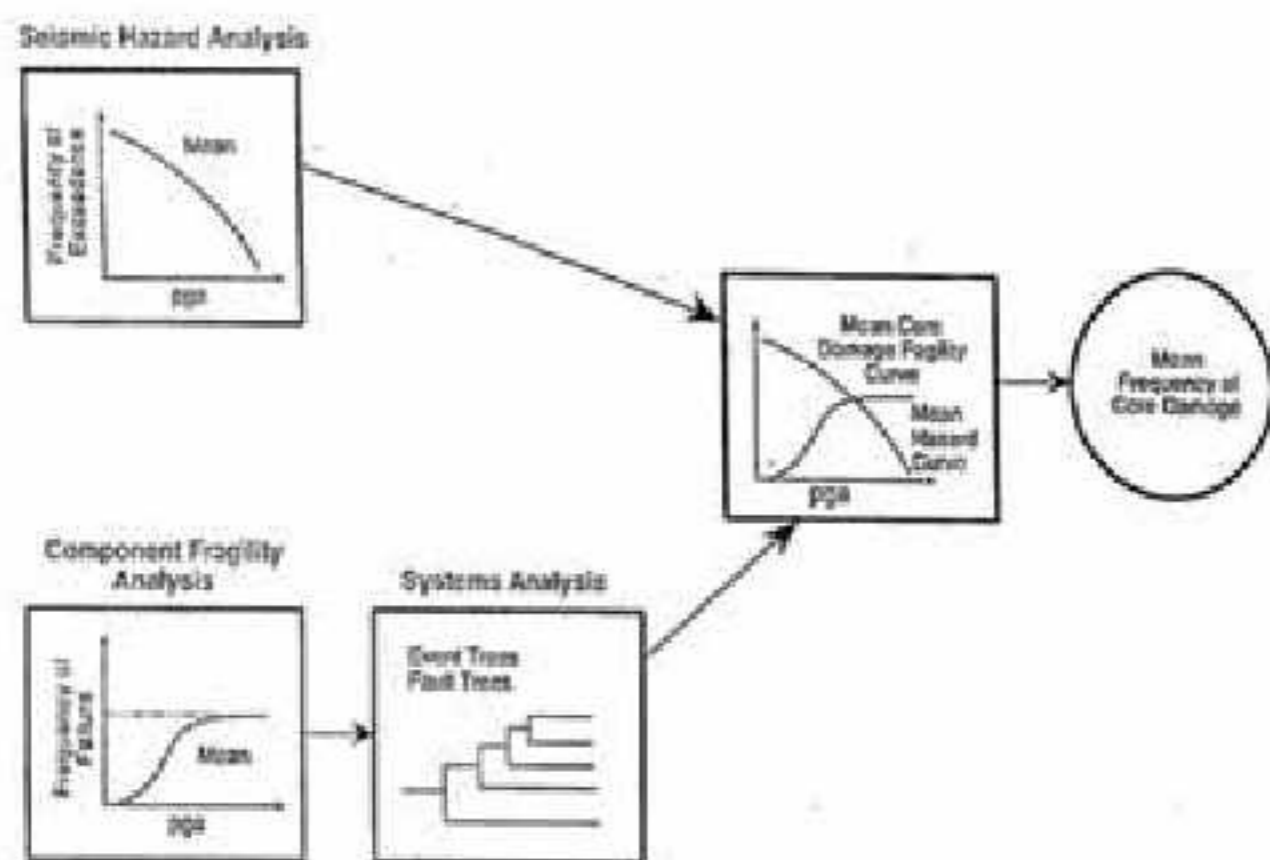


Рис. 1. Основні етапи сейсмічного ІАБ.

руйнівності елементів АЕС та інформації про системи для подальшого розрахунку сумарної частоти плавлення активної зони (ЧПАЗ).

На рис. 1 схематично показано взаємозв'язок вищезазначених етапів виконання сейсмічного ІАБ.

Основною метою оцінки граничної сейсмостійкості (SMA) є демонстрація того, що АЕС здатна витримати сейсмічний вплив, що перевищує проектне значення, а також виявити ті «слабкі місця», які можуть обмежити можливість безпечної останову АЕС у випадку землетрусу, що перевищує проектний землетрус. Цей рівень землетрусу визначає здатність АЕС відповідати «високому ступеню достовірності низької імовірності відмови» (High Confidence, Low Probability of Failure - HCLPF). Це значення є числовою мірою здатності елементів та конструкцій протистояти (витримувати) землетрус вище проектного. Якщо результати сейсмічних досліджень майданчика доступні, оцінка сейсмічного внеску в ЧПАЗ реактору може бути легко розрахована із здатності до HCLPF. З імовірнісної точки зору здатність АЕС до HCLPF визначається, як 95% достовірність того, що виникнення відмови складає менше 5%. Концепція методу SMA графічно наведена на рис. 2.

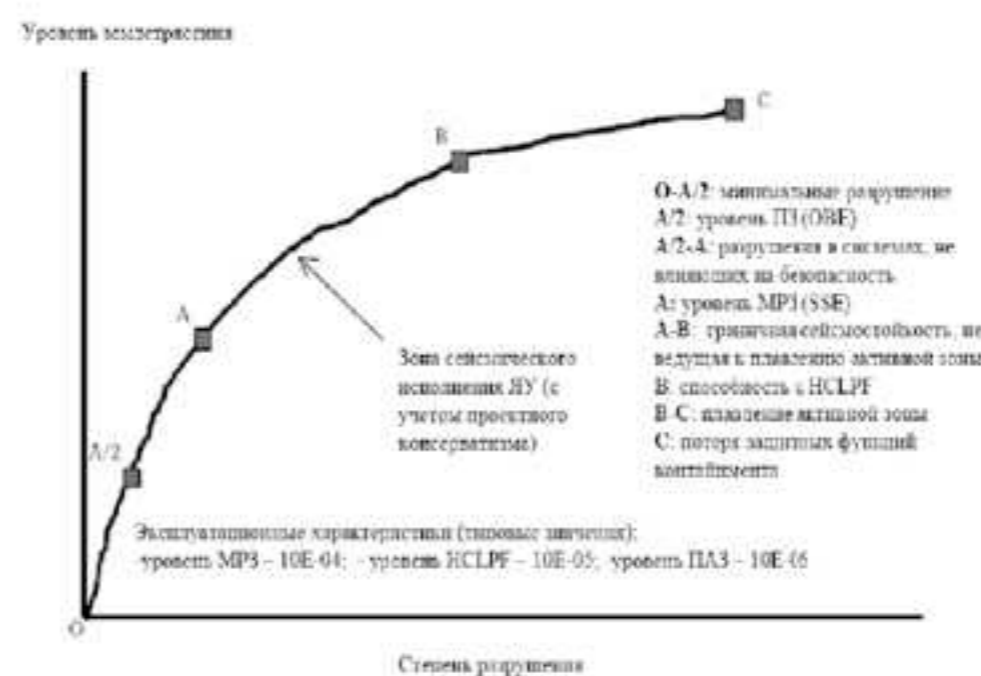


Рис. 2. Концепція оцінки граничної сейсмостійкості АЕС.

В обох випадках кінцева мета однакова – зрозуміти та визначити найбільш імовірну аварійну послідовність, яка ініційована землетрусом, обчислити внесок сейсмічного ризику та визначити недоліки та вузькі місця безпеки. Більш докладно метод граничної сейсмостійкості та його реалізація представлені в роботі [10].

На даний час ДП НАЕК «Енергоатом» розроблено та схвалено Держатомрегулюванням України «Концепцію виконання вероятностной оцінки частоти повреждения активной зоны и частоты предельного аварийного выброса от сейсмического воздействия для энергоблоков АЭС Украины», основу якої складає комбінований підхід, що полягає у синтезі оцінки граничної сейсмостійкості елементів АЕС із наступним виконанням імовірнісного аналізу сейсмічних впливів.

Зазначені вище аспекти будуть враховані при підготовці національних вимог до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АЕС України, а також при проведенні та ліцензуванні робіт щодо виконання імовірнісної оцінки частоти пошкодження активної зони і частоти граничного аварійного викиду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций: ПНАЭ Г-5-006-87; Утверждены ГАЭН СССР, 1987.
2. Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных станций. Руководство по безопасности МАГАТЭ No. NS-G-1.6. - Вена, 2008.
3. Tohoku-Kanto Earthquake and Tsunami on March 1, 2011 and consequences for Northeast Honshu Nuclear Power Plants. Dr. Ing Ludger Mohrbach // IAEA Workshop on Earthquake Preparedness and Response for Nuclear Power Plants, 24-28 October 2011. -Shanghai.
4. Pre-earthquake Maintenance and Post-earthquake Actions (Examples for Buildings and Structures in Japan) / Hirokazu TSUJI Japan Nuclear Technology Institute // IAEA Workshop on Earthquake Preparedness and Response for Nuclear Power Plants, 24-28 October 2011. -Shanghai.
5. Naoki Anahara "Tokyo Electric Power Company". Comparison between Fukushima-Daiichi NPP and Fukushima-Daini NPP, Accident Analysis, Current Status and interim feedback // IAEA Workshop on Earthquake Preparedness and Response for Nuclear Power Plants, 24-28 October 2011. - Shanghai.
6. DC/COL-ISG-020. Interim Staff Guidance on Implementation of a Probabilistic Risk Assessment-Based Seismic Margin Analysis for New Reactors
7. European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants, 2001.
8. Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations. IAEA Safety Guide No. NS-G-2.13. - Vienna, 2009.
9. Seismic Evaluation of Existing Nuclear Power Plants, IAEA Safety Reports Series No. 28. - Vienna, 2003.
10. Современные подходы к оценке/переоценке сейсмостойкости АЭС, находящихся в эксплуатации / [Шугайло А-й.П., Рыжов Д.И., Шугайло А-р.П., Леткова Н.Г.] // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. К.: НДІБК, 2008. – Вип. 69. – С. 133-142.