

Щодо вимог до сполучень навантажень під час оцінки сейсмостійкості конструкцій, систем та елементів непрямими методами

- **Шугайло Ол-р П.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1044-0299>
- **Рижов Д. І.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0068-5009>
- **Сахно О. В.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0131-3570>
- **Павлів Є. А.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3299-882>
- **Хамровська Л. В.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0443-2348>

Розширення номенклатури сполучень навантажень, які обов'язково повинні бути проаналізовані під час виконання обґрунтувань сейсмостійкості елементів атомної станції, можна вважати однією з важливих нових нормативних вимог.

У статті розглянуто тепломеханічне обладнання, оцінка сейсмостійкості якого здійснюється із застосуванням досвіду експлуатації, зокрема, методології непрямой оцінки сейсмостійкості з використанням процедури GIP (Generic Implementation Procedure) для реакторної установки з ВВЕР (процедура GIP-BVER).

Наведено огляд процедури GIP-BVER. Проаналізовано склад та зміст протоколу оцінки сейсмостійкості на прикладі трубопровідної арматури з електроприводом. Визначені недоліки процедури GIP-BVER із забезпечення дотримання сучасних нормативних вимог до сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень. Запропоновані шляхи усунення виявлених недоліків.

Розглянуті опорні конструкції обладнання, які здебільшого є класичними металевими конструкціями. З'ясовано вплив різних режимів експлуатації атомної станції на сталеві опорні конструкції обладнання. Проаналізовано положення будівельних норм, які регламентують розрахунки сталевих опорних конструкцій. Встановлено мінімальну номенклатуру сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень, які необхідно розглянути під час обґрунтування сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій першої та другої категорії сейсмостійкості.

Стаття входить до циклу публікацій, які присвячені розгляду нормативних вимог до сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень під час оцінки сейсмостійкості різноманітних елементів атомних станцій.

Ключові слова: сполучення навантажень, сейсмостійкість, тепломеханічне обладнання, GIP-BVER, сталеві конструкції, проектний землетрус, максимальний розрахунковий землетрус.

© Шугайло Ол-р П., Рижов Д. І., Сахно О. В., Павлів Є. А., Хамровська Л. В., 2020

Наразі в Україні є чинним НП 306.2.208-2016 [1], який застосовується під час:

оцінки сейсмічної небезпеки майданчика для розміщення атомних станцій;

проєктування сейсмостійких енергоблоків атомних станцій з урахуванням визначеного рівня сейсмічності майданчика атомних станцій;

оцінки/переоцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій, що експлуатуються.

НП 306.2.208-2016 [1] розроблений на заміну ПНАЕ Г-5-006-87 [2] та враховує сучасні підходи до оцінки сейсмічної небезпеки майданчиків та сейсмостійкості енергоблоків атомних станцій. Опис окремих основних відмінностей в положеннях НП 306.2.208-2016 [1] та ПНАЕ Г-5-006-87 [2] наведено в [2].

У НП 306.2.208-2016 [1], на відміну від ПНАЕ Г-5-006-87 [2], містяться, зокрема, вимоги до обов'язкових сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень, які мають бути розглянуті під час оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання. Так, для тепломеханічного обладнання першої категорії сейсмостійкості врахуванню підлягають такі сполучення навантажень:

НЕ (нормальна експлуатація) + ПА (проєктна аварія) + МРЗ (максимальний розрахунковий землетрус) – для обладнання, що забезпечує локалізуючу функцію безпеки герметичного огороження;

НЕ + ПА + ПЗ (проєктний землетрус);

НЕ + МРЗ, НЕ + ПЗ;

ПНЕ (порушення нормальної експлуатації) + МРЗ, ПНЕ + ПЗ.

Під час оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання II категорії сейсмостійкості врахуванню підлягають сполучення навантажень НЕ + ПЗ та ПНЕ + ПЗ.

З метою приведення діючих атомних станцій у відповідність до НП 306.2.208-2016 [1] експлуатуючою організацією розроблені, погоджені Державною інспекцією ядерного регулювання України та реалізуються організаційно-технічні заходи [4].

Окремі аспекти практичного використання нормативних вимог до сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень для тепломеханічного обладнання та трубопроводів розглянуті в [5]. До того, в [5] проаналізовані трубопроводи, а також тепломеханічне обладнання, для яких оцінка сейсмічної міцності здійснювалась за допомогою виконання розрахунку (тобто прямого методу оцінки сейсмостійкості). НП 306.2.208-2016 [1] для оцінки сейсмостійкості різних елементів енергоблоків атомних станцій передбачає використання таких методів (або їх комбінацій): аналіз (розрахунок), випробування, досвід експлуатації.

У цій статті, яка є логічним продовженням публікації [5], ми розглянемо тепломеханічне обладнання, для якого оцінка сейсмостійкості здійснюється із застосуванням досвіду експлу-

атації, зокрема, методології непрямой оцінки сейсмостійкості з використанням процедури GIP-BBER [6]. Під непрямим методом розуміється оцінка сейсмостійкості елементів атомних станцій, яка основана на виконанні аналізу сейсмічного досвіду, отриманого під час реальних землетрусів та в результаті випробувань на вібраційних стендах.

Щодо процедури GIP-BBER [6] зазначимо таке: оцінка сейсмостійкості елементів, яка основана на виконанні аналізу сейсмічного досвіду, використовується в Сполучених штатах Америки (США) більше 30 років. Тоді були створені перші в США бази даних сейсмостійкості обладнання атомних станцій. На підставі цих баз даних була розроблена загальна експлуатаційна процедура GIP. Ця процедура на початку 1990-х років була затверджена регулюючим органом США та дозволена для оцінки сейсмостійкості обладнання діючих атомних станцій.

Під процедурою GIP-BBER [6] йдеться про один з варіантів початкового методу GIP, призначений для оцінки сейсмостійкості обладнання атомних станцій з реакторною установкою саме BBER.

Загалом процедура GIP-BBER [6] застосовується для більш ніж 20 класів обладнання атомної станції до яких, зокрема, належать такі: горизонтальні та вертикальні насоси, арматура з пневматичним, електричним та електромагнітним приводами, вентилятори, компресори, дизель-генератори, акумулятори на стелажах, трансформатори.

Процедура GIP-BBER [6] не поширюється на основне обладнання реакторної установки, якот: реактор, елементи першого контуру, елементи системи компенсації тиску. Для цих елементів сейсмостійкість повинна підтверджуватися розрахунком або випробуваннями.

Процедура GIP-BBER [6] загалом є процедурою відбору та візуального огляду. Характеристики та параметри, індивідуальні для кожної одиниці обладнання, перевіряються під час візуального огляду, а також на підставі технічної документації (кресленики, паспорт тощо). У разі, якщо одиниця обладнання не відповідає критеріям процедури GIP-BBER вона вважається такою, для якої відсутнє підтвердження сейсмостійкості. Для такої одиниці обладнання в подальшому можуть бути застосовані інші методи підтвердження сейсмостійкості (випробування або розрахунок) або відповідна одиниця обладнання повинна бути замінена на іншу, для якої існує підтвердження сейсмостійкості.

Загалом під час використання процедури GIP-BBER [6] реалізуються чотири основні кроки:

формування групи сейсмічної оцінки;

визначення обладнання, сейсмостійкість якого повинна бути оцінена, та складання переліку такого обладнання;

проведення оцінки сейсмостійкості та візуальних оглядів обладнання;

визначення обладнання, для якого не підтверджена сейсмостійкість за процедурою GIP-BBER, та формування рішення щодо впровадження компенсуючих заходів або заміни обладнання.

Група сейсмічної оцінки формується з таких фахівців:

фахівець з детальними знаннями технологічних систем та функціоналу обладнання, яке розглядається;

представник атомної станції, який забезпечує безперешкодний доступ до обладнання;

два фахівці, які мають досвід та професійну підготовку з оцінки сейсмостійкості, знають процедуру GIP-BBER та мають досвід її використання для кваліфікації не менш ніж 20 одиниць обладнання кожного класу.

З огляду на зазначене вище, основним інструментом процедури GIP-BBER є інженерна оцінка. Така оцінка базується на виключних знаннях з сейсмічної оцінки будівель та обладнання атомної станції та на попередньому досвіді виконання кваліфікації обладнання на сейсмічні впливи. Без дотримання цих умов використання процедури GIP-BBER неможливо [6].

Основним технічним документом, який складається фахівцями GIP-BBER за результатами проведення оцінки сейсмостійкості та візуальних оглядів обладнання, є протокол оцінки сейсмостійкості. За своєю структурою протокол оцінки сейсмостійкості повинен містити:

опис обладнання;

порівняння поверхового спектра відгуку з референтним спектром відгуку;

розгляд критеріїв подоби;

оцінку анкерування;

оцінку можливих сейсмічних взаємодій обладнання з іншими елементами;

матеріали фотофіксації.

Кожна з основних частин протоколу оцінки сейсмостійкості враховує клас обладнання, який розглядається (насоси, арматура, вентилятори тощо). Зазначене обумовлює те, що протоколи оцінки сейсмостійкості різних класів обладнання містять різні контрольні запитання, які враховують специфіку конкретного класу обладнання. Структуру та зміст протоколу оцінки сейсмостійкості розглянемо на прикладі трубопровідної арматури з електроприводом. Протокол оцінки сейсмостійкості цього обладнання загалом складається з таких елементів.

1) Опис обладнання:

оперативне позначення;

тип (модель) обладнання;

система;

будівля та приміщення;

позначка розташування.

Порівняння поверхового спектра відгуку з референтним спектром відгуку.

2) Критерії подоби:

Обладнання відповідає ознакам GIP-BBER?

Корпус арматури виготовлений не з чавуну?

Бугель арматури виготовлений не з чавуну?

Арматура встановлена на трубопроводі з діаметром більше 25 мм?

Виключено надмірне навантаження бугеля арматури?

Відсутнє розкріплення корпусу арматури та її приводу в місці з можливим різним сейсмічним рухом?

Оцінена сейсмостійкість механізму, який з'єднує корпус арматури з віддаленим електроприводом?

Інші причини для сумніву у сейсмостійкості відсутні?

3) Анкерування:

Розташування та розміри кріплення до будівельних конструкцій адекватні можливим динамічним навантаженням?

При кріпленні болтами до основи зазор між опорною пластиною та основою менше 5 мм?

Опорна пластина має достатню товщину та жорсткість?

Всі гайки в наявності? Гайки затягнуті?

При приварюванні до закладної деталі зварний шов має достатню довжину та товщину?

Тріщини в бетоні в районі анкерних болтів та закладених деталей відсутні?

Корозія відсутня або незначна?

4) Сейсмічні взаємодії обладнання:

Відсутня можливість співударення обладнання з близькими конструкціями або іншим обладнанням?

Відсутня можливість пошкодження відповідальних реле та інших чутливих засобів від співударення з близькими частинами обладнання або близькими конструкціями?

Всі приєднані лінії достатньо гнучкі?

Відсутня можливість обвалення близьких будівельних конструкцій, трубопроводів та обладнання?

Інші можливі сейсмічні взаємодії відсутні?

Як видно, під час візуального огляду та оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання фахівцями GIP-BBER розглядається та аналізується велика кількість різноманітних аспектів. Водночас, серед вказаних аспектів не розглядаються такі:

1) зміна значень параметрів (тиск та температура) внутрішнього середовища тепломеханічного обладнання в режимах ПНЕ та ПА;

2) вплив зміни значень параметрів внутрішнього середовища в режимах ПНЕ та ПА на результати оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання під час використання процедури GIP-BBER [6];

3) зміна значень параметрів (підвищення тиску, температури, вологості, радіації тощо) оточуючого середовища тепломеханічного обладнання в режимах ПНЕ та ПА;

4) вплив підвищення параметрів оточуючого середовища в режимах ПНЕ та ПА на результати оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання під час використання процедури GIP-BBER [6].

Не виконання аналізу вказаних аспектів під час використання процедури GIP-BBER [6] обумовлено відсутністю відповідних вимог у методиці [6], яка була розроблена задовго до набуття чинності НП 306.2.208-2016 [1]. Зауважимо, що за інформацією п. 5.2.4 DOE/EH-0545 [7] виконання оцінки сейсмостійкості обладнання за допомогою процедури GIP проводиться з урахуванням несейсмічних робочих експлуатаційних навантажень (operating loads). Відомості щодо необхідності врахування несейсмічних навантажень режимів ПНЕ та ПА також відсутні у п. 5.2.4 DOE/EH-0545 [7].

Питання впливу зміни значень параметрів оточуючого середовища на працездатність обладнання в режимах ПНЕ та ПА розглядається в процесі виконання кваліфікації обладнання на «жорсткі» умови оточуючого середовища під час реалізації заходів КзППБ [8] 10101, 20101, 30101 «Розроблення матеріалів і виконання кваліфікації елементів енергоблока». Отже, для тепломеханічного обладнання, сейсмостійкість якого підтверджена з використанням існуючої процедури GIP-BBER [6] та виконані роботи з кваліфікації на «жорсткі» умови оточуючого середовища, можна вважати розглянутими та проаналізованими аспекти «3)» та «4)». Втім, для цього обладнання залишається необхідним розгляд та аналіз аспектів «1)» та «2)». Для іншого тепломеханічного обладнання першої категорії сейсмостійкості (для якого підтвердження сейсмостійкості виконано з використанням процедури GIP-BBER [6] та не виконувались роботи з кваліфікації на «жорсткі» умови оточуючого середовища), а також для обладнання другої категорії сейсмостійкості необхідним є розгляд аспектів «1)» – «4)». Виконання такого аналізу дозволить в повному обсязі дотриматися відповідних вимог НП 306.2.208-2016 [1] до обов'язкових сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень, які мають бути розглянуті під час оцінки сейсмостійкості обладнання.

Значна кількість різноманітного тепломеханічного обладнання атомної станції кріпиться до опорних конструкцій. Для забезпечення сейсмостійкості виробу загалом (тобто тепломеханічного обладнання з опорними конструкціями) в окремих випадках фахівці GIP-BBER можуть рекомендувати виконати розрахунок сейсмічної міцності опорних конструкцій відповідного тепломеханічного обладнання. Переважно опорні конструкції тепломеханічного обладнання є класичними металевими конструкціями (рами, стійки, швелери, кутки тощо). Приклад такої опорної конструкції зображено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Приклад опорної конструкції обладнання

Згідно з НП 306.2.208-2016 [1] обґрунтування сейсмостійкості, зокрема, опорних конструкцій обладнання, має виконуватися на підставі відповідних нормативних документів. Отже, розрахунки на міцність (методологія, критерії міцності, допустимі напруження тощо) опорних конструкцій мають виконуватись відповідно до такого нормативного документа, як ДБН В.2.6-198:2014 [9]. Проте бувають випадки, коли експлуатуюча організація намагається виконувати розрахунки опорних конструкцій обладнання відповідно до ПНАЭ Г-7-002-86 [10]. Такий підхід не може вважатися коректним та прийнятним з таких причин [3]: критерії міцності згідно з ПНАЭ Г-7-002-86 [10] загалом орієнтовані на обладнання та трубопроводи, навантажені внутрішнім тиском. Крім того, ПНАЭ Г-7-002-86 [10] регламентує використання підвищуючих коефіцієнтів в правій частині критерію міцності (тобто підвищення допустимих напружень). ДБН В.2.6-198:2014 [9] під час встановлення рівня допустимих напружень враховує специфіку металевих конструкцій, яка полягає в тому, що права частина критерію міцності загалом залишається без змін незалежно від кількості навантажувальних факторів (центральної розтяжки (стискання), одночасна дія розтягу (стискання) та згину тощо) та розрахункового випадку (нормальні умови експлуатації, врахування сейсмічних навантажень). Як визначено в [3], оцінка сейсмостійкості опорних конструкцій обладнання відповідно до підходів ДБН В.2.6-198:2014 [9] є більш коректною з технічної думки та консервативною в порівнянні із оцінкою за ПНАЭ Г-7-002-86 [10].

Відповідно до НП 306.2.208-2016 [1] під час обґрунтування сейсмічної міцності опорних конструкцій обладнання мають бути враховані ті ж самі, що й для самого обладнання, сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень.

ДБН В.2.6-198:2014 [9] поширюється на сталеві конструкції різного призначення, які працюють за температури оточуючого середовища не вище ніж 100°C і можливого короткочасного підвищення температури до 150° С. Вплив режимів ПНЕ та ПА на сталеві опорні конструкції тепломеханічного обладнання буде зводитися до підвищення температури оточуючого середовища. Відповідно до підходу, прийнятого в ДБН В.2.6-198:2014 [9], механічні властивості матеріалу залежать лише від класу міцності та товщини прокату сталі. Тобто, можна припустити, що в ДБН В.2.6-198:2014 [9] приймається, що механічні властивості металу в указаних температурних діапазонах змінюються несуттєво, а можливими змінами можна знехтувати з урахуванням використаної в ДБН В.2.6-198:2014 [9] системи коефіцієнтів надійності (наприклад, коефіцієнта надійності за відповідальністю, за матеріалом, коефіцієнта умов роботи тощо). Температура оточуючого середовища в герметичному об'ємі реакторного відділення може сягати [11]: при НЕ – 60°C, ПНЕ – 90°C, максимальній ПА – 150°C. Отже, для сталевих опорних конструкцій обладнання допустимо обмежитися розглядом лише сполучень навантажень НЕ + МРЗ для елементів першої категорії сейсмостійкості та НЕ + ПЗ для елементів другої категорії сейсмостійкості.

Висновки

1. Розглянуто та проаналізовано процедуру GIP-BBER [6] щодо забезпечення дотримання вимог НП 306.2.208-2016 [1] до сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень. З'ясовано, що під час використання процедури GIP-BBER [6] не розглядаються та не аналізуються такі аспекти:

зміна значень тиску та температури внутрішнього середовища тепломеханічного обладнання в режимах ПНЕ та ПА, а також вплив цих змін на результати оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання під час використання процедури GIP-BBER [6];

зміна значень параметрів (підвищення тиску, температури, вологості, радіації тощо) оточуючого середовища тепломеханічного обладнання в режимах ПНЕ та ПА, а також вплив цих змін на результати оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання під час використання процедури GIP-BBER [6].

Зауважимо, що процедура GIP-BBER [6] розроблена до набуття чинності НП 306.2.208-2016 [1]. На підставі зазначеного, вважаємо за потрібне:

розглянути питання впливу не сейсмічних навантажень режимів ПНЕ та ПА на існуючі результати оцінки сейсмостійкості обладнання, для якого використано процедуру GIP-BBER [6];

під час чергового перегляду процедури

GIP-BBER [6] привести її положення у відповідність до НП 306.2.208-2016 [1] в частині врахування несеїсмічних навантажень режимів ПНЕ та ПА під час проведення кваліфікації обладнання.

2. Для забезпечення сейсмостійкості обладнання з опорними конструкціями іноді потрібно виконувати окремий розрахунок сейсмічної міцності опорних конструкцій. Такий розрахунок повинен бути виконаний відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 [9]. Згідно з підходом, прийнятим в ДБН В.2.6-198:2014 [9], механічні властивості матеріалу залежать лише від класу міцності та товщини прокату сталі. Зважаючи на вищезазначене, встановлено, що для сталевих опорних конструкцій обладнання допустимо обмежитися розглядом лише сполучень навантажень НЕ + МРЗ для елементів першої категорії сейсмостійкості та НЕ + ПЗ для елементів другої категорії сейсмостійкості.

Список використаної літератури

1. Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій. НП 306.2.208-2016. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 17.10.2016 № 175, зареєстр. в М-ві юстиції України 07.11.2016 за № 1449/29579.
2. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 29 с.
3. Рижов Д. І., Шугайло Ол-й П., Шугайло Ол-р П., Кендзера О. В., Мар'єнков М. Г., Шендерович В. Я., Буряк Р. Я. Про сучасні вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій України. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2017. № 2(74). С. 9–13.
4. Организационно-технические мероприятия ГП «НАЭК «Энергоатом» по внедрению НП 306.2.208-2016 «Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій». Киев : ГП «НАЭК Энергоатом», 2017.
5. Шугайло Ол-р П., Рижов Д.І., Мустафін М.А., Підгаєцький Т.В., Леткова Н.Г. Окремі аспекти практичного використання нормативних вимог до сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень для тепломеханічного обладнання та трубопроводів. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 4(84). С. 5-11.
6. Методология сейсмической оценки для целей квалификации оборудования на сейсмические воздействия, DITI 300/376-RU/R.2. Ржеж : Институт ядерных исследований, 2009.
7. «Seismic Evaluation Procedure for Equipment in U.S. Department of Energy Facilities» DOE/EH-0545. US DOE [U.S. Department of Energy]. Washington D.C. March 1997.
8. Комплексна (зведена) програма підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій : затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 07.12.2011 № 1270. Офіційний вісник України. 2011. № 96.
9. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ : Укрархбудінформ, 2014, 199 с.

10. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 454 с.

11. Сравнительный анализ расчетных сочетаний нагрузок для зданий, сооружений, разных групп оборудования по требованиям ПНАЭ Г-5-006-87 и НП 306.2.208-2016. Киев : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2018.

References

1. Requirements for seismic resistance design and for evaluation of seismic safety of Ukrainian NPPs. NP 306.2.208-2016. Approved by SNRIU Order No. 175 dated 17 October 2016, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 11 July 2016 under No. 1449/29579.

2. PNAEG-5-006-87. (1989). Standards for design of seismic-resistant nuclear power plants. Moscow, Energoatomizdat, 29.

3. Ryzhov, D., Shugailo, O.-i., Shugaylo, O.-r., Kendzera, O., Maryenkov, M., Shenderovich, V., Buryak, R. (2017). About modern requirements for seismic resistance design and for evaluation of seismic safety of Ukrainian NPP units. *Nuclear and Radiation Safety*, 2(74), 9–13.

4. Organizational and technical measures of Energoatom for implementation of NP 306.2.208-2016 "Requirements for seismic design and seismic safety assessment of NPPs". Kyiv, Energoatom, 2017.

5. Shugaylo, O.-r., Ryzhov, D., Mustafin, M., Pidhaietskyi, T., Letkova, N. (2019). Some aspects of practical application of regulatory requirements related to operating and seismic load combinations for thermomechanical equipment and piping. *Nuclear and Radiation safety*, 4(84), 5–11.

6. DITI 300/376-RU/R.2. (2009). Methodology of seismic assessment for qualification of equipment for seismic impacts. UJV Rez.

7. DOE/EH-0545. (1997). Seismic Evaluation Procedure for Equipment in U.S. Department of Energy Facilities. U.S. DOE (U.S. Department of Energy), Washington D.C.

8. Comprehensive (Integrated) Safety Improvement Program for Ukrainian NPPs. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1270 dated 07 December 2011.

9. DBN V.2.6-198:2014. (2014). Steel Structures. Design Standards. Kyiv, Ukrarkhbudinform, 199.

10. PNAE G-7-002-86. (1989). Standards for strength calculations of equipment and piping of nuclear power installations. Moscow, Energoatomizdat, 454.

11. Comparative analysis of the calculated load combinations for building structures, several groups of equipment according to requirements of PNAE G-5-006-87 and NP 306.2.208-2016. Kyiv, Energoatom, 2018.

Regarding Requirements to Load Combinations in Case of Evaluation of SSC Seismic Resistance by Indirect Methods

Shugaylo O.-r., Ryzhov D., Sakhno O., Pavliv Ye., Khamrovska L.

State enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

Extension of the list of load combinations that should be analyzed during the nuclear power plant (NPP) components seismic resistance justification is one of the important new regulatory requirements.

The paper deals with the thermomechanical equipment for which seismic resistance assessment is performed using operating experience method, in particular the methodology of indirect assessment using the GIP (Generic Implementation Procedure) for the WWER reactors (GIP-WWER procedure).

Review of GIP-WWER procedure has been performed. The paper presents the analysis of seismic screening evaluation work sheet based on the example of motor-operated valve. The disadvantages of the GIP-WWER procedure in terms of ensuring compliance with current regulatory requirements for combinations of operating and seismic loads have been identified and the ways of eliminating the revealed disadvantages have been offered.

The supporting structures of the equipment in most cases are the metal structures. Impact of different NPP operating modes to the steel supporting structures of the equipment has been considered and the provisions of building codes governing the calculation of steel support structures have been analyzed. A minimum listing of operating and seismic loads combinations has been established, which should be considered in the justification of the seismic strength of steel support structures referred to the first and second seismic categories.

The paper is a part of a series of publications devoted to consideration of regulatory requirements to combinations of operational and seismic loads in assessing the seismic resistance of NPP components.

Keywords: load combinations, seismic resistance, thermomechanical equipment, GIP-WWER, steel structures, operating basis earthquake, safe shutdown earthquake.

Отримано 02.10.2019.