

Загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів атомних станцій відповідно до нормативних вимог

■ Шугайло Олександр Петрович

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1044-0299>

■ Рижов Дмитро Іванович

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0068-5009>

Згідно з вимогами до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій обґрунтування сейсмостійкості обладнання, трубопроводів атомних станцій та їх опорних конструкцій виконується розрахунковими, експериментальними методами або їх комбінацією з урахуванням чинних нормативних документів та стандартів. Отже, необхідність виконання оцінки сейсмічної міцності елементів атомних станцій ставить фахівця перед вибором нормативного документа, відповідно до якого будуть виконуватися розрахунки. Щодо корпусного тепломеханічного обладнання та трубопроводів це питання є тривіальним, оскільки вже багато років розрахункова оцінка сейсмічної міцності цих елементів виконується відповідно до норм розрахунків на міцність обладнання та трубопроводів атомних станцій. Водночас, вирішення питання коректного вибору нормативних документів та підходів до оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів атомних станцій спричиняє певні складнощі.

У статті визначені загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів атомних станцій відповідно до сучасних нормативних вимог та міжнародного досвіду, які успішно впроваджуються в практику експлуатуючої організації з оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій.

Стаття входить до циклу публікацій в журналі «Ядерна та радіаційна безпека», присвячених розгляду різних аспектів практичного використання нормативних вимог до оцінки сейсмостійкості елементів атомних станцій.

Ключові слова: сталеві опорні конструкції, обладнання і трубопроводи, державні будівельні норми, сейсмічна міцність, навантаження.

© Шугайло О-р П., Рижов Д. І., 2021

Вступ

В Україні у 2016 році набув чинності нормативно-правовий акт НП 306.2.208-2016 [1], який застосовується:

під час оцінки сейсмічної небезпеки майданчика для розміщення атомних станцій (АС);

під час проектування сейсмостійких енергоблоків АС з урахуванням визначеного рівня сейсмічності майданчика;

під час оцінки/переоцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АС, що експлуатуються.

Питання щодо аспектів практичної застосовності вимог НП 306.2.208-2016 [1] до сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень

під час оцінки сейсмічної міцності обладнання та трубопроводів енергоблоків АС детально розглянуті в циклі публікацій [2], [3] та [4]. Наразі розглянемо питання особливостей оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС відповідно до вимог НП 306.2.208-2016 [1].

Згідно з НП 306.2.208-2016 [1] обґрунтування сейсмостійкості обладнання, трубопроводів АС та їх опорних конструкцій виконується розрахунковими, експериментальними методами або їх комбінацією відповідно до положень НП 306.2.208-2016 [1], а також чинних нормативних документів та стандартів. Обраний метод детально обґрунтовується. Отже, необхідність виконання оцінки сейсмічної міцності елементів АС ставить фахівця перед вибором нормативного документа, відповідно до якого виконувати розрахунки. Водночас, обраний нормативний документ має враховувати специфіку оцінки міцності елементу АС, що розглядається (обладнання, трубовід, сталева опорна конструкція тощо). Щодо корпусного тепломеханічного обладнання та трубопроводів це питання є тривіальним, оскільки вже багато років розрахункова оцінка сейсмічної міцності цих елементів виконується відповідно до підходів ПНАЭ Г-7-002-86 [5].

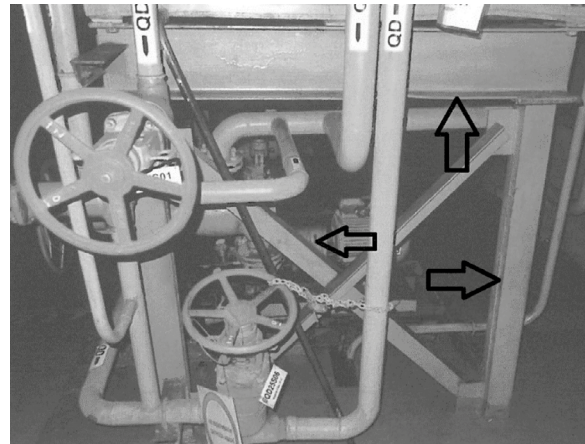
Водночас, вирішення питання коректного вибору нормативних документів для оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС спричиняє певні складнощі. Зупинимось більш докладно на розгляді цього аспекту.

Переважно опори обладнання і трубопроводів АС є класичними сталевими конструкціями, наприклад: двотаври, швелери, кутики. Приклади сталевих опорних конструкцій елементів АС наведені на Рисунку 1.

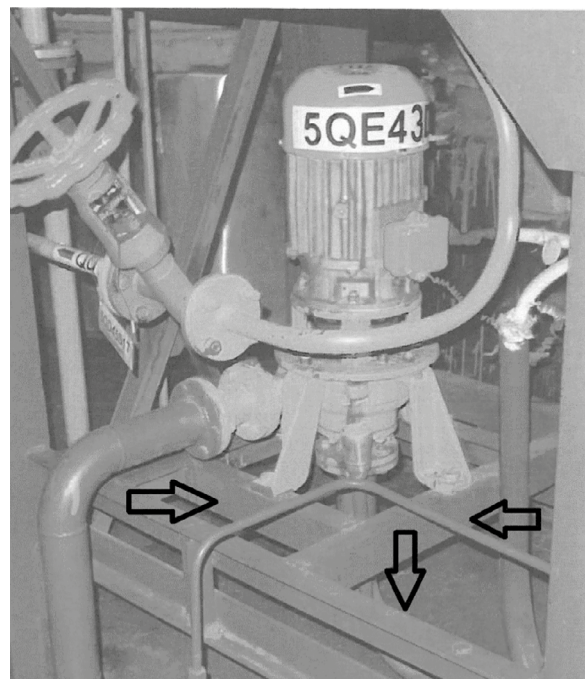
Натомість, у деяких випадках фахівцями пропонується виконувати розрахунки сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС відповідно до ПНАЭ Г-7-002-86 [5] (див., наприклад [6]). Запропонований підхід не є достатньо коректним та прийнятним з таких причин:

1) ПНАЭ Г-7-002-86 [5] застосовується для оцінки міцності обладнання і трубопроводів АС з температурою теплоносія не вище 600 °С та поширюється на обладнання та трубопроводи, проектування, виготовлення, монтаж та експлуатація яких здійснюється відповідно до НП 306.2.227-2020 [7] та СОУ НАЕК 158:2020 [8].

2) ПНАЭ Г-7-002-86 [5] встановлює, зокрема, такі умови сейсмічної міцності обладнання і трубопроводів I категорії сейсмостійкості за сполучення навантажень нормальна експлуатація (НЕ) + максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ):



Варіант А



Варіант Б

Рисунок 1 – Приклади сталевих опорних конструкцій елементів АС

$$(\sigma_s)_1 \leq 1,4[\sigma],$$

$$(\sigma_s)_2 \leq 1,8[\sigma], \quad (1)$$

де $(\sigma_s)_1$ – «група приведенных напряжений от механических нагрузок и сейсмических воздействий, определяемая по составляющим общим мембранным напряжениям» [5];

$(\sigma_s)_2$ – «група приведенных напряжений от механических нагрузок и сейсмических воздействий, определяемая по составляющим мембранным и общим изгибным напряжениям» [5].

$[\sigma]$ – «номинальное допустимое напряжение при расчетной температуре», визначене згідно з п. 3.4 ПНАЭ Г-7-002-86 [5].

Водночас, відповідно до ПНАЭ Г-7-002-86 [5]: загальні мембранні напруження – це середні напруження по товщині стінки обладнання та трубопроводів, спричинені дією внутрішнього або зовнішнього тиску;

загальні згинні напруження – це, зокрема, напруження від впливу зовнішніх сил та моментів, які діють на обладнання та трубопроводи.

Як бачимо, під час оцінки сейсмічної міцності обладнання та трубопроводів АСПНАЭ Г-7-002-86 [5] встановлює різні критерії сейсмічної міцності залежно від навантажувальних факторів.

Узагальнені підходи до оцінки сейсмічної міцності, зокрема класичних сталевих конструкцій, наведені в ДБН В.2.6-198:2014 [9], ДБН В.1.1-12:2014 [10], ДБН В.1.2-2:2006 [11], ДБН В.1.2-14:2018 [12]. Вказані документи, на відміну від ПНАЭ Г-7-002-86 [5], враховують специфіку та підходи до оцінки міцності саме сталевих конструкцій. Наприклад, відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 [9] критерій міцності елементів сталевих конструкцій:

за центрального розтягу (стиску) має такий вигляд:

$$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (2)$$

де N – значення поздовжньої сили, що спричиняє розтяг (стиск);

γ_n – коефіцієнт відповідальності конструкції;

A_n – площа перерізу нетто;

R_y – розрахунковий опір сталі розтягу, стиску і згину за границею плинності;

γ_c – коефіцієнт умов роботи конструкції;

під час дії поздовжньої сили та згинального моменту має, зокрема такий вигляд:

$$\frac{N\gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} \pm \frac{M_x \cdot \gamma_n}{I_{xn} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot y \pm \frac{M_y \cdot \gamma_n}{I_{yn} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \cdot x \leq 1, \quad (3)$$

де M_x, M_y – абсолютні значення згинальних моментів у разі найбільш несприятливої комбінації розрахункових навантажень;

I_{xn}, I_{yn} – моменти інерції перерізу нетто відносно головних осей $x-x, y-y$ відповідно;

x, y – відстані від головних осей до точки перерізу, яка розглядається.

Як видно, під час оцінки міцності сталевих конструкцій відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 [9]:

права частина (тобто допустима величина) критерію міцності загалом залишається без змін незалежно від кількості навантажувальних факторів (центрального розтягу (стискання), одночасна дія розтягу (стискання) та згину тощо);

ліва частина (тобто розрахункова величина) критерію міцності консервативно збільшується внаслідок використання коефіцієнта відповідальності конструкції (γ_n).

Відповідно до ДБН В.2.6-198:2014 [9] під час розгляду сталевих конструкцій, що знаходяться в особливих умовах експлуатації (наприклад, піддані сейсмічним впливам), необхідно дотримуватися додаткових вимог, які відображають особливості роботи цих конструкцій.

Зважаючи на зазначене, актуальним постало питання розробки загальних принципів оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС відповідно до НП 306.2.208-2016 [1].

Мета статті

Метою статті є:

аналіз сучасного міжнародного досвіду щодо підходів до оцінки міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС;

обґрунтування вибору нормативних документів України для оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС;

розробка загальних принципів оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС.

Результати аналізу сучасного міжнародного досвіду щодо підходів до оцінки міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС

Американською спільнотою інженерів-механіків (ASME (American Society of Mechanical Engineers)) розроблено стандарт ASME [13], сфера застосування якого поширюється саме на опорні конструкції обладнання і трубопроводів. Стандарт ASME [13] визначає приналежність опори обладнання і трубопроводів до сталевих конструкцій та встановлює вимоги до матеріалів, проектування та розрахунків міцності тощо. Згідно зі стандартом ASME [13] опори поділяються на такі основні типи: лінійні, стандартизовані, пластинчасті та оболонкові.

Для цілей нашого аналізу найголовнішим та найважливішим є те, що стандарт ASME [13] встановлює чіткі межі використання тих чи інших стандартів під час розгляду елементів, які входять до системи «обладнання (трубопровід) + сталева опорна конструкція».

Стандарт ASME [13] встановлює, що опорна конструкція повинна проектуватися та розраховуватися відповідно до його вимог. Безпосередньо обладнання та трубопроводи повинні проєк-

туватися та розраховуватися згідно з відповідними підрозділами стандарту ASME, які поширюються на елементи, що розглядаються.

Обґрунтування вибору нормативних документів України для оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС

З урахуванням описаних вище положень державних будівельних норм, а також результатів виконаного аналізу сучасного міжнародного досвіду, зауважимо таке: оцінка сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС має виконуватися на підставі:

1) національних специфічних вимог, регламентованих нормами, правилами та стандартами з ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ), зокрема:

НП 306.2.208-2016 [1] (вимоги до рівнів сейсмічних впливів, розрахункових моделей та комп'ютерних кодів, номенклатури сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень тощо);

НП 306.2.141-2008 [14] (вимоги щодо необхідності використання інженерних та технічних рішень, які апробовані досвідом експлуатації, проектування конструкцій на основі консервативних підходів тощо);

НП 306.2.162-2010 [15] (вимоги щодо того, що програмні засоби використовуються в межах їх застосування, визначених розробником програмного засобу тощо).

2) критеріїв міцності, встановлених в ДБН В 2.6-198:2014 [9], з урахуванням вимог ДБН В.1.1-12:2014 [10], ДБН В.1.2-2:2006 [11], ДБН В.1.2-14:2018 [12].

Загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС

За результатами виконаних аналізів можна сформулювати такі загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС, визначені в національних нормативних документах України:

1) на виконання вимог НП 306.2.141-2008 [14] щодо необхідності дотримання консервативного підходу, під час класифікації сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС відповідно до ДБН В 2.6-198:2014 [9] необхідно:

відносити їх до категорії відповідальності «А», тобто конструкцій, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації споруди загалом або значної її частини;

відносити до класу наслідків СС3 (значні наслідки);

розрахунковий переріз відносити до I класу напружено-деформованого стану (див. Рисунок 2), тобто нормальні напруження на всіх ділянках розрахункового перерізу є меншими за розрахунковий опір сталі і можуть досягати його лише в найбільш напружених волокнах перерізу;

2) у разі, коли для конкретних сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС неможливо точно підібрати значення різноманітних коефіцієнтів відповідно до державних будівельних норм (наприклад, коефіцієнт умов роботи елементів конструкції γ_c згідно з ДБН В 2.6-198:2014 [9], коефіцієнт сполучення розрахункових навантажень ψ_c згідно з ДБН В.1.1-12:2014 [10] тощо) числові значення відповідних коефіцієнтів необхідно приймати такими (максимальними або мінімальними), які дають консервативний результат розрахунку;

3) як сейсмічні навантаження на сталеві опорні конструкції потрібно приймати навантаження, які під час СВ передаються на них від обладнання і трубопроводів, а також від будівельних конструкцій, до яких вони закріплені;

4) розрахунки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС повинні виконуватися у такій послідовності:

розрахунок статичної міцності опорних конструкцій під час НЕ;

розрахунок власних частот і форм коливань опорних конструкцій обладнання і трубопроводів; виконання статичного або лінійно-спектрального (залежно від результатів розрахунку власних частот і форм коливань) або динамічного аналізу опорних конструкцій обладнання та трубопроводів;

5) навантаження на сталеві опорні конструкції обладнання і трубопроводів окремих систем безпеки, які поєднують функції систем НЕ (наприклад, система аварійного охолодження реактора низького тиску та планового розхолодження [16]) можуть бути віднесені, зокрема, до змінних короткочасних навантажень відповідно до підходів ДБН В.1.2-14:2018 [12].

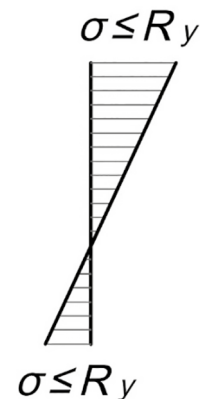


Рисунок 2 – Напружений стан перерізу конструкції

Тобто, під час складання розрахункових сполучень навантажень у такому разі згідно з ДБН В.1.2-14:2018 [12] коефіцієнт сполучення (ψ_2) мав би бути прийнятий меншим одиниці. Втім, з огляду на вплив систем безпеки на забезпечення безпечної експлуатації АС, а також на виконання вимог НП 306.2.141-2008 [14] щодо необхідності дотримання консервативного підходу, коефіцієнт сполучення ψ_2 у цьому разі необхідно приймати рівним одиниці;

б) в основу технічних прийомів та підходів до виконання безпосередньо розрахунків міцності сталевих опорних конструкцій, насамперед визначення критеріїв міцності, необхідно покласти положення державних будівельних норм.

Розглянемо це на прикладі елементів сталевих конструкцій за центрального розтягу (стиску). Формулу (2) можна привести до класичного виду умов міцності, який використовується в опорі матеріалів, а саме:

$$\frac{N}{A_n} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \quad (4)$$

або

$$\sigma_{\text{розрахункове}} \leq [\sigma], \quad (5)$$

де $\sigma_{\text{розрахункове}}$ – розрахункове значення напружень;

$[\sigma]$ – допустиме значення напружень.

Під час оцінки сейсмічної міцності допускається використання положень ДБН В.1.1-12:2014 [10] щодо того, що розрахункове значення зусилля, напруження або іншого силового фактора, який відповідає розрахунковій комбінації сейсмічного та інших навантажень і за яким реалізується перевірка несучої здатності конструктивного елемента, розраховується за формулою:

$$N_d = \gamma_n \cdot N_{\text{stat}} + \frac{N_p}{m}, \quad (6)$$

де N_{stat} – доля розрахункового значення силового фактора, зумовлена всіма врахованими навантаженнями, що увійшли в аварійне сполучення відповідно до пп. 6.1.1 ДБН В.1.1-12:2014 [10], крім сейсмічного навантаження;

N_p – доля розрахункового значення силового фактора, пов'язана із сейсмічним навантаженням і визначається відповідно до пп. 6.3.8, 6.3.9 ДБН В.1.1-12:2014 [10];

m – коефіцієнт, який враховує підвищення механічних властивостей матеріалів за високих швидкостей навантаження і визначається відповідно до пп. 6.5.4 ДБН В.1.1-12:2014 [10].

На практиці описаний підхід оцінки сейсмічної міцності сталевих конструкцій можна реалізувати двома основними способами, а саме:

спосіб 1: виконати розрахунки моделі опорної конструкції у скінчено-елементному розрахунковому коді під час сполучення навантажень НЕ + СВ. Отримані у скінченному елементі найбільші значення розтягуючих (стискаючих) розрахункових напружень порівняти з допустимим значенням, визначеним у правій частині співвідношення (4);

спосіб 2: виконати розрахунки моделі опорної конструкції у скінчено-елементному розрахунковому коді під час сполучення навантажень НЕ + СВ. Для найбільш навантаженого перерізу конструкції винайти розрахункове значення поздовжньої сили N , що спричиняє розтяг (стиск) під час сполучення навантажень НЕ + СВ. Аналітичним способом перевірити умову міцності (4) для найбільш навантаженого перерізу опорної конструкції, підданого розтягу (стиску).

Спосіб 2 є менш консервативним порівняно зі способом 1, оскільки в ньому використовується усереднення напружень у розрахунковому перерізі. Проте, він є допустимим, оскільки відповідає підходам, регламентованим державними будівельними нормами.

7) оцінка сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС повинна завершуватися визначенням величини параметра HCLPF (High Confidence Low Probability of Failure (висока забезпеченість низької імовірності відмови)) [17]. HCLPF являє собою характеристику граничної сейсмостійкості елемента, віднесена до пікового значення прискорення на рівні ґрунту конкретного майданчика АС. З детальним описом методу граничної сейсмостійкості можна ознайомитися в методиках [18], [19]. Наразі зупинимось на розгляді лише певних особливостей реалізації цього методу до сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС.

Під час визначення параметра HCLPF використовується коефіцієнт сейсмічного запасу FS, який показує, у скільки разів необхідно збільшити інтенсивність СВ на ґрунті, щоб досягти допустимої величини параметра, що оцінюється. Коефіцієнт FS у загальному вигляді визначається за формулою [19]:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{\sqrt{D_S^2 + D_{SAM}^2 + \delta C_S}}, \quad (7)$$

де C – значення допустимого параметра (наприклад, допустимі напруження, зусилля, переміщення тощо);

D_{NS} – вклад у параметр, що оцінюється, всіх несейсмічних навантажень;

D_s – вклад у параметр, що оцінюється, сейсмічних інерційних навантажень;

D_{SAM} – вклад у параметр, що оцінюється, навантажень від сейсмічного зміщення опор;

δC_s – зниження величини допустимого параметра внаслідок впливу сейсмічного навантаження (наприклад, міцність стіни відносно зсувних навантажень може бути зменшена вертикальним розтягуючим навантаженням на цю стіну, спричиненим сейсмічною подією).

Під час виконання практичних розрахунків, як правило, параметри δC_s та D_{SAM} не враховуються через відсутність відповідних факторів або їх незначний вплив, яким можна знехтувати.

Формула (7) є універсальною, тому щодо сталевих опорних конструкцій за центрального розтягу (стиску) з урахуванням положень ДБН В 2.6-198:2014 [9] приймає такий вигляд:

$$FS = \frac{R_y \cdot \gamma_c \cdot N_{HE}}{\frac{\gamma_n}{N_{сейсм}} \cdot A_n}, \quad (8)$$

де N_{HE} – значення поздовжньої сили, що спричиняє розтяг (стиск) під час HE;

$N_{сейсм}$ – значення поздовжньої сили, що спричиняє розтяг (стиск), винятково внаслідок СВ.

Для інших, більш складних випадків навантаження сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС (наприклад, одночасна дія розтягу та згину, одночасна дія стиску та згину тощо), порядок дій є аналогічним описаному вище з урахуванням кількості навантажувальних факторів та відповідних положень державних будівельних норм.

Висновки

1. Виконано аналіз сучасного міжнародного досвіду щодо підходів до оцінки міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС. Визначено, що згідно із сучасним міжнародним досвідом:

опорна конструкція має проектуватися та розраховуватися відповідно до стандартів, які поширюються на сталеві конструкції;

безпосередньо обладнання та трубопроводи, встановлені на сталевих опорних конструкціях, повинні проектуватися та розраховуватися згідно з відповідними стандартами, які поширюються на ці елементи.

2. Обґрунтовано, що оцінка сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС має виконуватися на підставі специфічних вимог, регламентованих нормами,

правилами та стандартами з ЯРБ, а також з урахуванням положень та підходів (зокрема критеріїв міцності), встановлених у державних будівельних нормах.

3. Наведені загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС України.

4. Встановлено, що з технічного погляду під час оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АС використання розроблених загальних принципів є більш коректним ніж застосування положень ПНАЭ Г-7-002-86 [5].

Список використаної літератури

1. НП 306.2.208-2016. Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 17.10.2016 № 175, зареєстровані в М-ві юстиції України від 07.11.2016 за № 1449/29579.

2. Шугайло О-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. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).01.

3. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Сахно О. В., Павлів Є. А., Хамровська Л. В. Щодо вимог до сполучень навантажень під час оцінки сейсмостійкості конструкцій, систем та елементів непрямыми методами. *Ядерна та радіаційна безпека*. № 1(85), С. 56-61. doi: 10.32918/nrs.2020.1(85).06.

4. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Жабін О. І., Данильчук Є. Л., Трусов І. О., Посох В. О., Куров В. О. Методологічні підходи до визначення необхідності врахування різних технологічних умов експлуатації елементів енергоблоків АЕС під час оцінки їх сейсмостійкості відповідно до нормативних вимог. *Ядерна та радіаційна безпека*. № 3(91). С. 5-10. doi: 10.32918/nrs.2021.3(91).01.

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

6. Отчёт о выполнении расчета сейсмостойкости доохладителя подпиточной воды ТК12W01 энергоблока № 1 ОП ЗАЭС. 01.ЗАЭС.75/01-16.ОТ.Д/75 (проміжна редакція). Энергодар: ВП ЗАЭС ДП «НАЕК «Енергоатом», 2016.

7. НП 306.2.227-2020. Загальні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації обладнання й трубопроводів атомних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 04.08.2020 № 319, зареєстровані в М-ві юстиції України 30.09.2020 за № 955/35238.

8. СОУ НАЕК 158:2020. Обеспечение технической безопасности. Технические требования к устройству и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных электрических станций с реакторами ВВЭР. Киев : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2020.

9. ДБН В 2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування.

10. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України.

11. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування.

12. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.

13. ASME. Boiler and Pressure Vessel Code. Section III – Rules For Construction Of Nuclear Facility Components. Division 1, Subsection NF – Supports. 2021.

14. НП 306.2.141-2008. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162, зареєстр. в М-ві юстиції України 25.01.2008 за № 56/14747.

15. НП 306.2.162-2010. Вимоги до оцінки безпеки атомних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 22.09.2010 № 124, зареєстр. в М-ві юстиції України від 21.10.2010 за № 964/18259, зі змінами.

16. Запорожская АЭС. Энергоблок № 5. Отчет по анализу безопасности. Дополнительные материалы по анализу безопасности. Глава 7. Анализ проектных решений и показателей эксплуатации. Детерминистическая оценки уровня безопасности. Книга 8. Часть 1. 21.5.59.ОБ.01.07.

17. Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations. IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.13. IAEA: Vienna, 2009. 84 p.

18. DITI 300/376-RU/R.2. Методология оценки сейсмостойкости оборудования для целей квалификации на сейсмические воздействия. Погоджена листом Держатомрегулювання від 23.12.2009 № 15-31/5-7281.

19. МТ-Т.0.03.326-13. Методика расчетного анализа сейсмостойкости элементов действующих АЭС в рамках метода граничной сейсмостойкости, зі зміною № 3, погодженою листом Держатомрегулювання від 04.10.2017 № 15-33/1-6126.

3. Shugaylo, O-r, Ryzhov, D., Sakhno, O., Pavliv, Y., Khamrovskaya, L. (2020). Regarding requirements to load combinations in case of evaluation of SSC seismic resistance by indirect methods. *Nuclear and Radiation Safety*, 1(85), 56-61. doi: 10.32918/nrs.2020.1(85).06.

4. Shugaylo, O-r, Ryzhov, D., Zhabin, O., Danylchuk, I., Trusov, I., Posokh, V., Kurov, V. (2021). Methodological approaches to determining the need to consider different operational loads of NPP components in assessing their seismic resistance in accordance with regulatory requirements. *Nuclear and Radiation Safety*, 3(91), 5-10. doi: 10.32918/nrs.2021.3(91).01.

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

6. Report on seismic resistance calculation for makeup water aftercooler TK12W01 of ZNPP Unit 1. 01.ZAES.75/01-16.OT.D/75. (2016). Energodar, Energoatom ZNPP (interim edition).

7. NP 306.2.227-2020. General safety requirements for design and operation of NPP equipment and piping approved by SNRIU Order No 319 dated 4 august 2020 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 30 September 2020 under No. 955/35238.

8. SOU NNEGC 158:2020. Technical safety provision. Technical requirements for design and safety operation of VVER NPP equipment and piping. Kyiv, Energoatom, 2020.

9. DBN V.1.1-12:2014. Construction in seismic regions of Ukraine Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014, 110 p.

10. DBN V.2.6-198:2014. Steel structures. Design standards. Kyiv, Ukrarkhbudinform, 2014, 199 p.

11. DBN V.1.2-2:2006. Loads and hazards. Design standards. Kyiv, Ministry of Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2006, 60 p.

12. DBN V.1.2-14:2018. General principles of reliability and structural safety of buildings and structures. Kyiv, Ministry of Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2018, 48 p.

13. ASME. Boiler and pressure vessel code. Rules for construction of nuclear facility components. Section III, Division 1, Subsection NF Supports, 2021.

14. NP 306.2.141-2008 General safety provisions for nuclear power plants approved by SNRIU Order No. 162 dated 19 November 2007 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 25 January 2008 under No. 56/14747.

15. NP 306.2.162-2010. Requirements for NPP safety assessment approved by SNRIU Order No 124 dated 22 September 2010 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 21 October 2021 under No. 964/18259.

16. Zaporizhzhya NPP. Unit 5. Safety analysis report. Additional safety analysis documents. Chapter 7. Analysis of design decisions and operating indicators. Deterministic assessment of safety level, 8(1). 21.5.59.ОБ.01.07.

17. Evaluation of seismic safety for existing nuclear installations. IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.13, Vienna, 2009, 84 p.

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

References

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

2. Shugaylo, O-r., Ryzhov, D., Mustafin, M., Pidhaietskyi, T., Letkova, N. (2019). Some aspects of practical application of regulatory requirements related to operational and seismic load combinations for thermomechanical equipment and piping. *Nuclear and Radiation Safety*, 4(84), 5-11. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).01.

19. Methodology of seismic resistance design analysis for components of operating NPPs within the seismic margin assessment method. MT-T.0.03.326-13, revision No. 3 approved by SNRIU letter No. 15-33/1-6126 of 4 October 2017.

General Principles of Seismic Resistance Assessment for Steel Support Structures of NPP Equipment and Piping According to Regulatory Requirements

Shugaylo O-r, Ryzhov D.

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

According to the regulatory requirements for seismic resistance design and seismic safety assessment of nuclear power plants (NPP), seismic resistance of NPP equipment, piping and their support structures is justified by calculating, experimental methods or their combination taking into account current regulations and standards. Therefore, the necessity to perform seismic resistance calculation of NPP components require to choose a regulatory document in accordance with which these calculations should be performed. In relation to thermomechanical equipment and piping, this issue is trivial because for many years, the design assessment of seismic resistance for these components is performed in accordance with the standards for strength calculations of NPP equipment and piping.

At the same time, solving the issue of correct choice of regulatory documents and approaches to the seismic resistance assessment of steel support structures of NPP equipment and piping causes some difficulties.

The article presents the developed general principles of seismic resistance assessment for steel support structures of NPP equipment and piping in accordance with up-to-date regulatory requirements and international experience, which are successfully implemented in practice of the operating organization for seismic safety assessment of NPP units.

The article is part of a series of publications in the Nuclear and Radiation Safety Journal devoted to considering various aspects of the practical application of regulatory requirements for the seismic resistance assessment of NPP components.

Keywords: steel support structures, equipment and piping, state construction standards, seismic resistance, loads.

Отримано 08.10.2021