

# Загальні принципи розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків 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>
- **Круглій Яна Дмитрівна**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2267-6007>
- **Кохан Вікторія Ігорівна**  
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8600-1615>

Згідно з вимогами до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій обґрунтування сейсмостійкості обладнання, трубопроводів атомних станцій та їхніх опорних конструкцій виконується розрахунковими, експериментальними методами або їх комбінацією з урахуванням чинних нормативних документів та стандартів. Отже, під час оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків атомних станцій фахівець має обрати нормативні документи та стандарти, відповідно до яких виконувати розрахунки. Вирішення питання коректного вибору нормативних документів, стандартів та підходів до оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків атомних станцій зумовлює певні складнощі.

У статті описано аналіз та обґрунтовано вибір нормативних документів та стандартів для розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків атомних станцій. Наведено розроблені загальні принципи розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків атомних станцій.

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

Ключові слова: чавунне обладнання, сейсмічна міцність, навантаження, методи розрахунку, допустимі напруження.

© Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Круглій Я. Д., Кохан В. І., 2022

## Вступ

В Україні з 2016 року оцінка сейсмостійкості елементів енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) виконується відповідно до нормативно-правового акта НП 306.2.208-2016 [1]. Окремі аспекти практичного застосування вимог НП 306.2.208-2016 [1] до оцінки сейсмостійкості різноманітних елементів АЕС розглянуті в циклі публікацій [2], [3], [4] та [5]. Наразі розглянемо питання особливостей оцінки сейсмичної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС відповідно до вимог НП 306.2.208-2016 [1].

Стосовно чавуну зауважимо, що він відсутній у Переліку дозволених для використання матеріалів при виготовленні обладнання та трубопроводів, що наведений в СОУ НАЕК 158:2020 [6]. Загалом застосування чавуну на АЕС обмежується використанням в окремому обладнанні, на яке не поширюються вимоги НП 306.2.227-2020 [7] (наприклад, система палива та змащування дизель-генератора тощо). Втім до цього обладнання в повному обсязі висуваються вимоги щодо його сейсмостійкості згідно з НП 306.2.208-2016 [1].

Згідно з НП 306.2.208-2016 [1] обґрунтування сейсмостійкості обладнання, трубопроводів АЕС та їхніх 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, під час оцінки сейсмичної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС фахівець має визначити нормативні документи та стандарти, відповідно до яких виконувати розрахунки. Водночас, обрані нормативні документи та стандарти мають враховувати специфіку оцінки міцності чавуну.

У деяких випадках фахівцями пропонується оцінку сейсмичної міцності чавунного обладнання виконувати відповідно до підходів, регламентованих ПНАЭ Г-7-002-86 [8] (див., наприклад [9]). Запропонований підхід не можна вважати коректним та прийнятним з таких причин:

ПНАЭ Г-7-002-86 [8] 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 [6]. Втім, як наголошено вище, чавун відсутній у Переліку дозволених матеріалів, наведеному в СОУ НАЕК 158:2020 [6];

ПНАЭ Г-7-002-86 [8] установлює, зокрема, такі умови сейсмичної міцності обладнання і трубопроводів I категорії сейсмостійкості за сполучення навантажень нормальна експлуатація (НЕ) + максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ):

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

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

де  $(\sigma_s)_1$  – «група приведенных напряжений от механических нагрузок и сейсмических воздействий, определяемая по составляющим общим мембранным напряжениям» [8];

$(\sigma_s)_2$  – «група приведенных напряжений от механических нагрузок и сейсмических воздействий, определяемая по составляющим мембранных и общих изгибных напряжений» [8];

$[\sigma]$  – номінальне допустиме напруження за розрахункової температури.

Згідно з ПНАЭ Г-7-002-86 [8] номінальне допустиме напруження за розрахункової температури визначається у такий спосіб:

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_{p0,2}^T}{1,5}; \frac{R_m^T}{2,6} \right\}, \quad (2)$$

де  $R_{p0,2}^T$  – мінімальне значення границі плинності при розрахунковій температурі, МПа;

$R_m^T$  – мінімальне значення тимчасового опору при розрахунковій температурі, МПа.

На рисунку 1 зображені діаграми «напруження ( $\sigma$ )-деформація ( $\epsilon$ )» для чавуну та сталі [10], [11]. Діаграма «напруження ( $\sigma$ )-деформація ( $\epsilon$ )» чавуну є типовою для крихких матеріалів, коли руйнування відбувається без значного залишкового деформування.

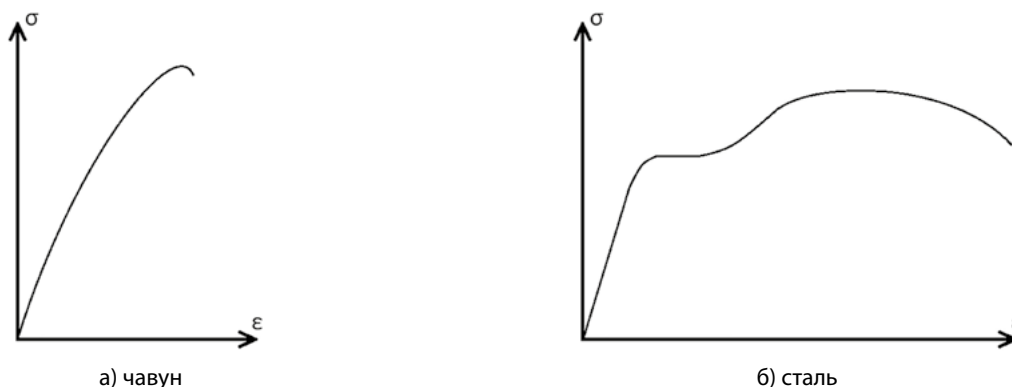


Рисунок 1 – Діаграми «напруження ( $\sigma$ )-деформація ( $\epsilon$ )»

Діаграма «напруження ( $\sigma$ )-деформація ( $\varepsilon$ )» сталі є типовою для пластичних матеріалів та має низку характерних ділянок, які відповідають стадіям пружного та пластичного деформування.

Із співвідношення (1) видно, що ПНАЭ Г-7-002-86 [8] регламентує використання підвищуючих коефіцієнтів (1,4 та 1,8) відносно номінальних допустимих напружень. Тобто, положення ПНАЭ Г-7-002-86 [8] під час оцінки сейсмічної міцності орієнтовані на пластичні, а не крихкі матеріали.

Ситуація ускладнюється ще тим, що згідно з методологією [12] обладнання, виготовлене з чавуну, не відповідає критеріям процедури непрямой оцінки сейсмостійкості GIP-BBER, яка заснована на досвіді експлуатації аналогічного обладнання під час сейсмічних впливів. У такому разі одиниця обладнання, виготовлена з чавуну, вважається такою, для якої відсутнє підтвердження сейсмостійкості за процедурою GIP-BBER. Для такої одиниці обладнання мають бути застосовані інші методи підтвердження сейсмостійкості, зокрема аналіз (розрахунок сейсмостійкості) чи випробування, або відповідна одиниця обладнання повинна бути замінена на іншу, для якої існує підтвердження сейсмостійкості.

Зважаючи на зазначене, актуальним постало питання розробки загальних принципів розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС відповідно до НП 306.2.208-2016 [1].

#### **Метою статті є:**

обґрунтування вибору нормативних документів та стандартів для розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС;

розробка загальних принципів розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС.

#### **Обґрунтування вибору нормативних документів та стандартів для розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС**

Серед технічних документів існує ГОСТ 26159-84 [13], вимоги якого поширюються на чавунні посудини та апарати, які застосовуються в хімічній, нафтопереробній та суміжних галузях промисловості, та встановлює загальні вимоги до методів їх розрахунку на міцність. За даними «Каталогу національних стандартів та кодексів ustalеної практики» Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» [14] ГОСТ 26159-84 [13] наразі втратив чинність та повністю скасований на території

України. На жаль, національного стандарту України, який би замінював ГОСТ 26159-84 [13], немає. Міністерство економіки України щодо застосування стандартів колишнього Радянського Союзу, зокрема скасованих на території України в 2015 році міждержавних стандартів (ГОСТ), дає такі роз'яснення [15]:

якщо ГОСТ скасовано національним органом стандартизації – він вже не має статусу нормативного документа, а являє собою звичайний «текст»;

можуть застосовуватися скасовані ГОСТ для професійних потреб як звичайні інструкції, правила тощо, але не можуть робитися посилання на такі ГОСТ, тому що вони не є чинними та не визнані національними органом стандартизації.

Зі свого боку, в [13] запропоновані два методи розрахунку виробів з чавуну:

- за граничними навантаженнями;
- на підставі теорії пружності.

Згідно з [13] розрахунок на підставі теорії пружності застосовується для виробів з чавуну з пластинчастим графітом, для яких виконуються такі умови:

- чавун є відпаленим або емальованим;
- неруйнівний контроль та контроль механічних властивостей проводився на кожному виливі;
- для серійних виробів під час перевірки дотримання технології виливання та контролю механічних характеристик, який проводиться на всій плавці;

розрахункова схема елемента враховує всі особливості конструкції, а також концентрацію напружень від дефектів типу раковин та зазублин.

На практиці для конкретних чавунних виробів енергоблока АЕС експлуатуючій організації загалом не вдається зібрати відомості за всіма вказаними аспектами. Цей факт зумовлений тим, що свого часу (а це більше 30 років тому) для чавунних виробів серійного виробництва такі відомості не передавались від заводу-виробника до кінцевого користувача або не збереглися в архівній документації заводу-виробника. Відсутність та неповнота відповідних відомостей унеможлиблює використання методу розрахунку чавунного обладнання на підставі теорії пружності.

Водночас, у підтримку можливості застосування методу розрахунку за граничними навантаженнями можна віднести багаторічну практику його використання в оцінці міцності чавунних посудин та апаратів у суміжних галузях промисловості. Отже, застосування методу розрахунку за граничними навантаженнями [13] під час оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС свідчитиме про дотримання вимог НП 306.2.141-2008 [16] в частині використання апробованої технічної практики.

З урахуванням зазначеного вище зауважимо таке: оцінка сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС має виконуватися на підставі:

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

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

НП 306.2.141-2008 [16] (вимоги щодо необхідності проектування конструкцій на основі консервативних підходів тощо);

НП 306.2.162-2010 [17] (вимоги щодо того, що програмні засоби використовуються в межах їх застосування, визначених розробником програмного засобу тощо).

2) критеріїв міцності, запропонованих [13] для методу розрахунку за граничними навантаженнями.

#### Загальні принципи розрахункової оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС

За результатами виконаних аналізів можна сформулювати такі загальні принципи оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС з використанням методу розрахунку за граничними навантаженнями:

1) за основу вимог до оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС мають бути прийняті положення НП 306.2.208-2016 [1], НП 306.2.141-2008 [16] та НП 306.2.162-2010 [17];

2) з урахуванням положень [13] номінальні допустимі напруження мають визначатися за формулами:  
– для чавуну з пластинчастим графітом та ковкого чавуну:

$$[\sigma] = k_N \cdot k_p \cdot k_B \cdot \frac{\sigma_B}{n_{BG}}, \quad (3)$$

де  $k_N$  – коефіцієнт, що враховує вплив термічної обробки;

$k_p$  – коефіцієнт, що враховує обсяг контролю;

$k_B$  – коефіцієнт, що враховує навантаження конструкції;

$\sigma_B$  – мінімальне значення границі міцності під час розтягу при розрахунковій температурі;

$n_{BG}$  – коефіцієнт запасу міцності за границею міцності під час розтягу для ковкого чавуну та чавуну з пластинчастим графітом.

– для чавуну з кулястим графітом:

$$[\sigma] = k_N \cdot k_p \cdot \min \left\{ \frac{\sigma_{0,2}}{n_T}; \frac{\sigma_B}{n_B} \right\}, \quad (4)$$

де  $\sigma_{0,2}$  – мінімальне значення умовної границі плинності при розрахунковій температурі (при 0,2 %-му залишковому видовженні);

$n_T$  – коефіцієнт запасу міцності за умовною границею плинності при 0,2 %-му залишковому видовженні для чавуну з кулястим графітом;

$n_B$  – коефіцієнт запасу міцності за границею міцності під час розтягу для чавуну з кулястим графітом;

3) з урахуванням принципу консервативності, регламентованого НП 306.2.141-2008 [16], а також положень [13], наведені вище коефіцієнти слід приймати такими:  $k_N = 0,8$ ,  $k_p = 0,85$ ,  $k_B = 1$ ,  $n_{BG} = 7,0$ ,  $n_T = 3,0$  (для чавуну з кулястим графітом при відносному видовженні під час розтягу  $\geq 12$  %),  $n_B = 4,4$  (для чавуну з кулястим графітом при відносному видовженні під час розтягу  $\geq 12$  %). Для чавуну з кулястим графітом, у якого відносне видовження при розриві менше 12 %, коефіцієнти запасу міцності приймаються як для чавуну з пластинчастим графітом;

4) значення фізико-механічних властивостей чавуну при розрахунковій температурі мають прийматися з урахуванням їхньої зміни у разі підвищення температури;

5) під час визначення границі міцності сірого чавуну має бути враховано її зниження в стінках виливків різного перерізу (див. ДСТУ 8833:2019 [18]);

6) з урахуванням того, що чавун є крихким матеріалом (див. вище) критерій сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС I та II категорій сейсмостійкості приймається таким:

$$(\sigma_s)_2 \leq [\sigma], \quad (5)$$

де  $[\sigma]$  для чавуну визначається за співвідношеннями (3) або (4);

7) методологічні аспекти розрахунків на міцність, які не залежать від типу матеріалу (номенклатура розрахункових навантажень (тиск, маса виробу та його вмісту тощо), розрахункові групи категорій напружень, умови застосування методів оцінки сейсмостійкості тощо) приймаються відповідно до ПНАЭ Г-7-002-86 [8];

8) як сейсмічні навантаження на чавунне обладнання енергоблоків АЕС потрібно приймати навантаження, які під час сейсмічного впливу передаються на нього від приєднаних трубопроводів, а також від будівельних конструкцій, до яких воно закріплено;

9) розрахунки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС повинні виконуватися у такій послідовності:

розрахунок статичної міцності обладнання під час HE;

розрахунок власних частот і форм коливань обладнання;

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

10) оцінка сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС повинна завершуватися визначенням величини параметра HCLPF (High Confidence Low Probability of Failure (висока забезпеченість низької імовірності відмови)) [19]. HCLPF є характеристикою граничної сейсмостійкості елементу, віднесеною до пікового значення прискорення на рівні ґрунту конкретного майданчика АЕС. З детальним описом методу граничної сейсмостійкості можна ознайомитися в методиках [12], [20]. Наразі зупинимось на розгляді лише певних особливостей реалізації цього методу щодо чавунного обладнання енергоблоків АЕС.

Параметр HCLPF визначається за таким співвідношенням [20]:

$$HCLPF = FS \cdot F_{\mu} \cdot PGA_{RLE}, \quad (6)$$

де  $FS$  – коефіцієнт сейсмічного запасу;

$F_{\mu}$  – безрозмірний коефіцієнт непружного поглинання енергії;

$PGA_{RLE}$  – прискорення нульового періоду на ґрунті для рівня сейсмічного впливу, що розглядається (Review Level Earthquake).

Методика [20] передбачає врахування роботи елементів енергоблоків АЕС в пружно-пластичній області. Одним із засобів врахування цього ефекту є використання коефіцієнта непружного поглинання енергії  $F_{\mu}$ . Як зазначено вище, чавун є крихким матеріалом. Отже, під час розрахунку HCLPF чавунного обладнання енергоблоків АЕС не припустимо враховувати ефект непружного поглинання енергії, що саме і передбачено Методикою [20], згідно з якою для елементів АЕС з чавуну  $F_{\mu}$  рекомендується приймати рівним одиниці.

## Висновки

1. Наведено аналіз та обґрунтовано, що оцінка сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС має виконуватися на підставі специфічних вимог, регламентованих нормами, правилами та стандартами з ядерної та радіаційної безпеки, а також з урахуванням інформації, зазначеної в [13].

2. Встановлено, що для оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС доцільно використовувати метод розрахунку за граничними навантаженнями. Застосування цього методу свідчитиме про дотримання вимог НП 306.2.141-2008 [16] в частині використання апробованої технічної практики.

3. Розроблені загальні принципи оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС.

4. Установлено, що з технічного погляду під час оцінки сейсмічної міцності чавунного обладнання енергоблоків АЕС використання розроблених загальних принципів є більш коректним ніж застосування в повному обсязі положень ПНАЭ Г-7-002-86 [8].

## 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, зареєстр. 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*. 2020. № 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*. 2021. № 3(91). С. 5-10. doi: 10.32918/nrs.2021.3(91).01.

5. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів атомних станцій відповідно до нормативних вимог. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2021. № 4(92). С. 4-11. doi: 10.32918/nrs.2021.4(92).01.

6. 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.

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, зареєстр. в М-ві юстиції України 30.09.2020 за № 955/35238.

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

9. Расчёт на статическую, циклическую прочность и сейсмостойкость насоса D4000-95 системы технической воды группы «А» ответственных потребителей блока №3. Оперативное обозначение 3QF11D01, 3QF11D02, 3QF21D01, 3QF21D02, 3QF31D01, 3QF31D02. TO.D4000-95.KP-1.13-B03-15. ОП РАЭС. Энергоблок №3 (проміжна редакція). Київ, 2015.

10. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наук. думка, 1988. 736 с.

11. Опір матеріалів. Київ: Логос, 2000. 551 с.

12. Методология сейсмической оценки для целей квалификации оборудования на сейсмические воздействия, DITI 300/376-RU/R.2. Ржеж: Институт ядерных исследований, 2009.

13. ГОСТ 26159-84. Сосуды и аппараты чугунные. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.

14. Каталог національних стандартів та кодексів усталеної практики Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості». URL: <http://katalog.uas.org.ua> (звернення 06.04.2022).

15. Роз'яснення Міністерства економічного розвитку і торгівлі України з питань застосування стандартів, у тому числі в зв'язку зі скасуванням у 2015 році міждержавних стандартів (ГОСТ). URL: <https://bit.ly/3IHBDkj> (звернення 06.04.2022).

16. 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.

17. 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.

18. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови.

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

20. 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.

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

3. Shugaylo, O-r, Ryzhov, D., Sakhno, O., Pavliv, Y., Khamrovska, L. (2020). Regarding requirements for 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. Shugaylo, O-r, Ryzhov, D. (2021). General principles of seismic resistance assessment of steel support structures of NPP equipment and piping according to regulatory requirements. *Nuclear and Radiation Safety*, 4(92), 4-11. doi: 10.32918/nrs.2021.4(92).01.

6. SOU NAEK 158:2020. Technical safety. Technical requirements for design and safe operation of equipment and piping of VVER nuclear power plants. Kyiv, SE NNEGC "Energoatom", 2020.

7. NP 306.2.227-2020. General safety provisions for design and operation of equipment and piping of nuclear power plants. Approved by SNRIU Order No. 319 dated 4 August 2020, registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 30 September 2020 under No. 955/35238.

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

9. Calculation for static and cyclic strength and seismic resistance of D4000-95 pump of Unit 3 group A essential service water system. Operational designation 3QF11D01, 3QF11D02, 3QF21D01, 3QF21D02, 3QF31D01, 3QF31D02. TO.D4000-95.KP-1.13-B03-15. RNPP Unit 3 (draft). Kyiv, 2015.

10. Pysarenko, G., Yakovlev, A., Matveev, V. Material strength guide. Kyiv, Naukova Dumka, 1988, 736 p.

11. Strength of materials. Kyiv, Logos, 2000, 551 p.

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

13. GOST 26159-84. Cast iron vessels and devices. Standards and methods of strength calculation. General requirements.

14. Catalog of national standards and codes for established practice of the Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality Problems. URL: <http://katalog.uas.org.ua> (appeal of 6 April 2022).

15. Clarification of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine on the application of standards, including due to the cancel of interstate standards (GOST) in 2015. URL: <https://bit.ly/3IHBDkj> (appeal of 6 April 2022).

## References

1. NP 306.2.208-2016. Requirements for seismic resistance design and evaluation of seismic safety for Ukrainian NPP units. 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.

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

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

18. DSTU 8833:2019. Gray cast iron castings with lamellar graphite. General technical specifications.

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

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

The article describes the analysis and justifies the selection of regulations for the calculating assessment of seismic resistance for cast iron equipment of NPP units. The developed general principles of the calculating assessment for seismic resistance of NPP cast iron equipment are presented.

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

Keywords: cast iron equipment, seismic resistance, loads, calculation methods, allowable stress.

Отримано 06.04.2022

## General Principles of Calculating Assessment for Seismic Resistance of Cast Iron Equipment at NPP Units according to Regulatory Requirements

O-r Shugaylo, D. Ryzhov, Ya. Krugliy, V. Kohan

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

According to the requirements for seismic resistance design and assessment of seismic safety of Ukrainian NPP units, seismic resistance for equipment, piping of nuclear power plants and their support structures is justified using calculation, experimental methods or combination thereof considering current regulations and standards. Hence, during the assessment of seismic resistance for cast iron equipment of NPP units, experts should select regulations and standards in accordance with which the calculations will be performed. Solving the issue of correct selection of regulations and approaches to the assessment of seismic resistance for cast iron equipment of NPP units causes certain difficulties.