

Методологічні підходи до визначення необхідності врахування різних технологічних умов експлуатації елементів енергоблоків АЕС під час оцінки їх сейсмостійкості 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>

■ **Жабін Олег Ігорович**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9139-6634>

■ **Данильчук Євген Леонідович**, канд. техн. наук

Відокремлений підрозділ «Науково-технічний центр»
Державного підприємства «НАЕК «Енергоатом», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3716-1639>

■ **Трусов Іван Олександрович**

Відокремлений підрозділ «Науково-технічний центр»
Державного підприємства «НАЕК «Енергоатом», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-6633>

■ **Посох Валерій Олегович**, канд. техн. наук

Державне підприємство «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-7237>

■ **Куров Володимир Олександрович**

Державне підприємство «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3584-4513>

Нормативні вимоги до оцінки сейсмостійкості елементів енергоблоків атомних електростанцій передбачають необхідність врахування різних технологічних умов експлуатації в сполученні із сейсмічними впливами. Раніше вже були проаналізовані переваги та недоліки запропонованої експлуатууючою організацією узагальненого алгоритму дій щодо визначення необхідності (або її відсутності) врахування різних сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень. Встановлено, що вказаний аспект потребує ґрунтового дослідження для тепломеханічного обладнання, сейсмостійкість якого підтверджена методом GIP-BBER, зокрема: вплив несейсмічних навантажень у разі порушення нормальної експлуатації та проєктної аварії на існуючі результати оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання методом GIP-BBER. До того, не вирішеним залишилось також питання коректного визначення технологічних параметрів, які відповідають порушенню нормальної експлуатації та проєктній аварії, для систем та елементів енергоблоків атомних електростанцій, для яких в технологічному регламенті безпечної експлуатації енергоблока не встановлені умови та межі безпечної експлуатації.

У статті містяться методологічні підходи до вирішення вказаних проблемних питань.

Стаття входить до циклу публікацій в журналі «Ядерна та радіаційна безпека», присвячених розгляду нормативних вимог до сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень під час оцінки сейсмостійкості різноманітних елементів атомних електростанцій.

Ключові слова: GIP-BBER, порушення нормальної експлуатації, проєктна аварія, сейсмостійкість, сполучення навантажень..

© Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Жабін О. І., Данильчук Є. Л., Трусів І. О., Посох В. О., Куров В. О., 2021

Вступ

У 2016 році набув чинності нормативно-правовий акт НП 306.2.208-2016 [1], розроблений на заміну ПНАЭ Г-5-006-87 [2]. НП 306.2.208-2016 [1] містить низку вимог, які раніше не були встановлені в ПНАЭ Г-5-006-87 [2], а нині мають враховуватися під час оцінки/переоцінки сейсмостійкості діючих енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) України, зокрема розширено перелік сполучень навантажень, які мають застосовуватися під час оцінки/переоцінки сейсмостійкості будівель, споруд, обладнання та трубопроводів енергоблоків АЕС.

Впровадження вимог НП 306.2.208-2016 [1] на АЕС України здійснюється відповідно до розроблених Державним підприємством «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» (ДП «НАЕК «Енергоатом») організаційно-технічних заходів [3]. У межах виконання етапу 2 організаційно-технічних заходів [3] експлуатууючою організацією розроблено документ [4], метою якого є визначення необхідності врахування додаткових сполучень навантажень під час оцінки сейсмостійкості будівель, споруд та різних груп обладнання АЕС відповідно до вимог НП 306.2.208-2016 [1] на прикладі аналізу для «пілотного» енергоблока № 3 Відокремленого підрозділу «Запорізька АЕС» (ВП ЗАЕС).

У попередніх публікаціях [5], [6] зауважено, що експлуатууючою організацією запропоновано [4] загалом прийнятний алгоритм дій щодо визначення необхідності (або її відсутності) врахування додаткових сполучень навантажень, регламентованих НП 306.2.208-2016 [1], під час оцінки сейсмостійкості трубопроводів та тепломеханічного

обладнання, на підставі виконаних раніше розрахунків на сейсмічну міцність.

Однак, як встановлено під час проведення державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки [7], низка підходів, зазначених у документі [4], потребувала доопрацювання. Це стосується, зокрема таких аспектів [6], [7]:

1. Експлуатаційні межі (ЕМ) та межі безпечної експлуатації (МБЕ) за технологічними параметрами (тиск, температура) елементів I та II контурів енергоблока АЕС загалом встановлені в інструкції з експлуатації реакторної установки (див., наприклад, [8]) та в технологічному регламенті безпечної експлуатації (ТРБЕ) енергоблока (див., наприклад, [9]). Проте, в інструкціях з експлуатації реакторних установок та в ТРБЕ енергоблоків для окремих систем та елементів (наприклад, система технічної води відповідальних споживачів тощо) відповідні відомості відсутні. Більшість таких систем належать до I та II категорії сейсмостійкості, тому для них повинні дотримуватися всі вимоги НП 306.2.208-2016 [1], включно з вимогами щодо аналізу сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень. З огляду на сказане, визначення ЕМ цих систем та елементів (або їх ділянок) повинно здійснюватися та підставі аналізу проєктно-конструкторської та експлуатаційної документації (інструкцій з експлуатації, карт уставок захистів та блокувань, паспортів елементів тощо). Це потребувало виконання додаткових аналізів експлуатууючою організацією.

2. Під час візуального огляду та оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання фахівцями GIP-BBER розглядається та аналізується велика кількість різноманітних аспектів, зокрема: критерії подоби, анкерування обладнання, сейсмічні взаємодії обладнання тощо. Водночас, серед цих ас-

пектів не розглядається такий важливий параметр як зміна значення тиску внутрішнього середовища тепломеханічного обладнання в режимах порушення нормальної експлуатації (ПНЕ) та проєктна аварія (ПА), а також вплив цієї зміни на результати оцінки сейсмостійкості обладнання методом GIP-BBER.

Указаний недолік процедури GIP-BBER виник внаслідок того, що методика [10], відповідно до якої виконані роботи з оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання енергоблоків АЕС України, не містить вимог щодо необхідності врахування (аналізу) несейсмічних навантажень режимів ПНЕ та ПА. Така ситуація склалась через те, що методика [10] розроблена до набуття чинності НП 306.2.208-2016 [1].

Нижче детально описані та проаналізовані розроблені методологічні підходи щодо:

визначення технологічних параметрів тиску та температури для систем та елементів енергоблока АЕС під час ПНЕ і ПА;

врахування несейсмічних навантажень ПНЕ та ПА для обладнання, сейсмостійкість якого підтверджена методом GIP-BBER.

Методологічні підходи щодо визначення технологічних параметрів тиску та температури для систем та елементів енергоблока АЕС під час ПНЕ і ПА

Як вказано вище, в інструкціях з експлуатації реакторних установок та в ТРБЕ енергоблоків відсутні відомості щодо ЕМ та МБЕ за технологічними параметрами (тиск, температура) для певних систем та елементів енергоблока АЕС. У паспортах елементів наводяться розрахункові значення тиску та температури, які на практиці у перевірних розрахунках на міцність здебільшого використовуються як значення, що характеризують нормальну експлуатацію (НЕ).

З урахуванням зазначеного, як критеріями для визначення параметрів тиску та температури для режимів ПНЕ та ПА в [4] запропоновано керуватись визначеннями із НП 306.2.141-2008 [11], відповідно до якого:

«порушення нормальної експлуатації атомної станції (АС) – порушення в роботі АС, за якого сталося відхилення від установлених експлуатаційних меж і умов, яке не призвело до аварійної ситуації»;

«аварійна ситуація – стан АС, що характеризується порушенням меж і/або умов безпечної експлуатації, що не перейшов в аварію»;

«аварія – порушення експлуатації АС, за якого стався вихід радіоактивних речовин і/або іонізуючих випромінювань у кількості, що перевищує визначені проєктом межі безпечної експлуатації. Аварія характеризується початковою подією, шляхами протікання і наслідками».

Узагальнюючи сказане, для цілей аналізу, який виконується, можна прийняти таке:

ПНЕ – перевищення встановлених ЕМ;

ПА – перевищення встановлених МБЕ.

Ґрунтуючись на зазначеному, для визначення вихідних даних під час оцінки сейсмостійкості елементів енергоблока АЕС в [4] запропонована така методологія:

1) для систем та елементів, для яких встановлені МБЕ за температурою та/або тиском, параметрами визначення сейсмостійкості під час сполучення навантажень, що містять ПНЕ і ПА, приймаються такі значення:

а) для сполучень навантажень ПНЕ + МРЗ (МРЗ – максимальний розрахунковий землетрус), ПНЕ + ПЗ (ПЗ – проєктний землетрус) консервативно приймаються параметри тиску та температури, що відповідають значенням МБЕ за тиском і температурою (зокрема, $P_{1к}=180\text{кгс/см}^2$, $P_{2к}=80\text{кгс/см}^2$);

б) для сполучень навантажень НЕ + ПА + МРЗ, НЕ + ПА + ПЗ консервативно приймаються параметри тиску та температури, що визначені за результатами розрахунків в аналізі ПА;

2) для систем та елементів, для яких відсутні значення МБЕ за температурою та/або тиском, відповідні ЕМ обираються за результатами аналізу проєктно-конструкторської та експлуатаційної документації (інструкції з експлуатації, карти уставок і блокувань, паспорти тощо). «Верхні» значення ЕМ за тиском і температурою приймаються як параметри, що відповідають ПНЕ. Так, наприклад, для трубопроводів та обладнання зі встановленими запобіжними клапанами параметрами ПНЕ за тиском обираються значення уставок спрацювання цих клапанів.

Після встановлення ЕМ необхідність виконання додаткових заходів з оцінки сейсмостійкості встановлюється за такою процедурою: значення ЕМ за тиском (P_{EM}) та температурою (T_{EM}) порівнюються зі значеннями тиску та температури, що використовувались у раніше виконаних розрахунках сейсмостійкості елементу (розрахункові значення тиску (P_p) та температури (T_p)):

якщо $P_p \geq P_{EM}$ ($T_p \geq T_{EM}$) – для таких елементів виконувати додаткові розрахунки не потрібно;

якщо $P_p < P_{EM}$ ($T_p < T_{EM}$) – для таких елементів необхідно виконати оцінку сейсмостійкості з використанням значень (P_{EM}) та (T_{EM}) або провести аналітичну оцінку відповідно до підходів, описаних в [4] та [5];

3) для систем та елементів, для яких оцінка сейсмостійкості раніше не проводилася, рекомендується виконувати аналіз сейсмостійкості з використанням значень МБЕ за температурою та/або тиском (якщо вони встановлені), або ЕМ за тиском та температурою (якщо МБЕ не встановлені).

Апробація такого методологічного підходу буде виконана експлуатуючою організацією в межах реалізації розроблених ДП «НАЕК «Енергоатом» організаційно-технічних заходів [3]. За результатами апробації до методологічного підходу будуть внесені коригування (за необхідності).

Методологічні підходи щодо врахування несейсмічних навантажень ПНЕ та ПА для обладнання, сейсмостійкість якого підтверджена методом GIP-BBER

Як зазначено вище, під час візуального огляду та оцінки сейсмостійкості тепломеханічного обладнання фахівцями GIP-BBER не розглядається та не аналізується такий важливий параметр як зміна значення тиску внутрішнього середовища тепломеханічного обладнання в режимах ПНЕ та ПА, а також вплив цієї зміни на результати оцінки сейсмостійкості обладнання методом GIP-BBER.

З метою врахування несейсмічних навантажень ПНЕ та ПА для тепломеханічного обладнання І категорії сейсмостійкості, оцінка якого виконана методом GIP-BBER, експлуатуючою організацією запропоновано певний алгоритм дій. Після доопрацювання цього алгоритму відповідно до зауважень державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки [7] цей алгоритм набув такого вигляду [4]:

1) порівнюються значення тиску під час ПНЕ та/або ПА з робочим і розрахунковим тиском елементу енергоблока АЕС. Значення робочого та розрахункового тисків встановлюються згідно з технічною документацією на обладнання. У разі, якщо тиск під час ПНЕ та/або ПА нижче робочого або розрахункового тиску елементу, то врахування додаткових сполучень навантажень згідно з НП 306.2.208-2016 [1] є недоцільним, оскільки проаналізоване в межах процедури GIP-BBER сполучення навантажень НЕ + МРЗ є більш консервативним;

2) у разі невиконання умов попереднього критерію внесок від зміни тиску під час ПНЕ та/або ПА в навантаження обладнання оцінюється так:

а) визначається критерій міцності обладнання для випадку виключно від сейсмічних навантажень:

$$k_3 = k_1 - k_2, \quad (1)$$

де $k_1 = 1,8[\sigma]$ – критерій міцності для сполучення навантажень НЕ + МРЗ, ПНЕ + МРЗ, НЕ + ПА + МРЗ, НЕ + ПА + ПЗ відповідно до НП 306.2.208-2016 [1] для категорії напружень $(\sigma_s)_2$. Причому, в сполученнях навантажень НЕ + ПА + МРЗ та НЕ + ПА + ПЗ під навантаженнями НЕ йдеться про постійні навантаження (наприклад, від власної ваги);

$k_2 = 1,3[\sigma]$ – критерій статичної міцності для категорії напружень $(\sigma)_2$ за НЕ відповідно до таблиці 5.6 ПНАЭ Г-7-002-86 [12].

Отже, критерій міцності обладнання для випадку виключно від сейсмічних навантажень для сполучень НЕ + МРЗ, ПНЕ + МРЗ, НЕ + ПА + МРЗ, НЕ + ПА + ПЗ можна подати у такому вигляді:

$$k_3 = 1,8[\sigma] - 1,3[\sigma] = 0,5[\sigma]. \quad (2)$$

б) визначається коефіцієнт збільшення тиску, як співвідношення значень тиску під час ПНЕ або ПА ($P_{па/пне}$) до робочого (розрахункового) тиску $P_{роб/роз}$ обладнання:

$$k = \frac{P_{па/пне}}{P_{роб/роз}}; \quad (3)$$

в) визначається значення розрахункових напружень $(\sigma)_2$ під час ПНЕ та/або ПА, використовуючи консервативне припущення про збільшення розрахункових напружень $(\sigma)_2$ пропорційно збільшенню тиску під час ПНЕ та/або ПА, тобто значення розрахункових напружень $(\sigma)_2$ під час ПНЕ та/або ПА умовно приймається рівним $1,3[\sigma] \cdot k$;

г) як видно із формул (2) та (3), зі зростанням коефіцієнта збільшення тиску k критерій міцності обладнання для випадку виключно від сейсмічних навантажень k_3 буде зменшуватись. Отже, введемо у використання умовний коефіцієнт вичерпання сейсмічної міцності C_{seism} :

$$C_{seism} = \frac{k_1 - k_2 \cdot k}{k_3}. \quad (4)$$

Керуючись логікою зазначеного в пп. 2.3.2 методики [10], пропорційне зниження коефіцієнта сейсмічного запасу (FS) у разі підвищення тиску під час оцінки сейсмостійкості методом GIP-BBER можна визначити так:

$$FS = C_{seism} \cdot \min \left[\frac{BS}{1,1 \cdot FRS} \right], \quad (5)$$

де BS – граничний спектр, який був прийнятий під час оцінки сейсмостійкості досліджуваного обладнання методом GIP-BBER;

FRS – поверховий спектр відповіді для відповідного значення пікового прискорення на ґрунті (PGA);

1,1 – прийнятий коефіцієнт запасу сейсмічної міцності.

У формулі (5) відношення спектрів відгуку визначається в діапазоні частот від власної частоти обладнання до 33 Гц. У разі, якщо власна частота невідома, відношення спектрів відгуку визначається на всьому діапазоні частот.

д) визначається величина HCLPF (High Confidence of Low Probability of Failure (висока забезпеченість низької імовірності відмови)) за таким співвідношенням [10]:

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

де FS – коефіцієнт сейсмічного запасу;
 F_{μ} – безрозмірний коефіцієнт непружного поглинання енергії (приймається рівним одиниці);
 PGA_{RLE} – прискорення нульового періоду на ґрунті для рівня сейсмічного впливу, що розглядається (Review Level Earthquake);

е) сейсмостійкість обладнання для сполучення навантажень ПНЕ + МРЗ, НЕ + ПА + МРЗ, НЕ + ПА + ПЗ вважається підтвердженою, якщо значення HCLPF перевищує значення PGA_{RLE} . Або мають бути застосовані інші методи оцінки сейсмостійкості обладнання, регламентовані НП 306.2.208-2016 [1] (розрахунок тощо).

Запропонований методологічний підхід щодо врахування несейсмічних навантажень ПНЕ та ПА для обладнання, сейсмостійкість якого підтверджується методом GIP-BBER, має таке обмеження: він може бути використаний лише для обладнання, яке було розраховано на статичну міцність відповідно до вимог ПНАЕ Г-7-002-86 [12]. В протилежному випадку підтвердження сейсмостійкості обладнання при ПНЕ та ПА повинно виконуватися іншими методами, регламентованими НП 306.2.208-2016 [1]. Це обмеження зумовлене тим, що у запропонованому методологічному підході використовуються критерії статичної міцності та сейсмостійкості, регламентовані ПНАЕ Г-7-002-86 [12] та НП 306.2.208-2016 [1].

Апробація описаного в цій статті методологічного підходу буде виконана в межах реалізації розроблених ДП «НАЕК «Енергоатом» організаційно-технічних заходів [3]. За результатами апробації до методологічного підходу будуть внесені коригування (за необхідності).

Висновки

1. Проаналізовано методологічні підходи щодо визначення технологічних параметрів тиску та температури для систем та елементів енергоблока АЕС під час ПНЕ і ПА; врахування несейсмічних навантажень ПНЕ та ПА для обладнання, сейсмостійкість якого підтверджена методом GIP-BBER.

2. Установлено, що методологічний підхід щодо врахування несейсмічних навантажень ПНЕ та ПА для обладнання, сейсмостійкість якого підтверджена методом GIP-BBER, має таке обмеження: він може бути використаний лише для обладнання, яке було розраховано на статичну міцність відповідно до вимог ПНАЕ Г-7-002-86 [12]. Це обмеження зумовлене тим, що у запропонованому методологічному підході використовуються критерії статичної міцності та сейсмостійкості, регламентовані ПНАЕ Г-7-002-86 [12] та НП 306.2.208-2016 [1].

3. Описані методологічні підходи загалом дозволяють скоротити номенклатуру елементів енергоб-

лока АЕС, для яких необхідно виконувати додаткові розрахунки сейсмічної міцності. Розроблені алгоритми дій спрощують практичне використання нормативних вимог до сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень для тепломеханічного обладнання та трубопроводів.

4. Апробація описаних методологічних підходів буде виконана в межах реалізації розроблених ДП «НАЕК «Енергоатом» організаційно-технічних заходів [3]. За результатами апробації до методологічних підходів будуть внесені коригування (за необхідності).

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. ПНАЕ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 1989, 29 с.

3. Організаційно-технічні заходи ДП «НАЕК «Енергоатом» з впровадження НП 306.2.208-2016 «Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій», погоджені листом Держатомрегулювання від 12.03.2021 № 12-23/4260-4697.

4. 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.

5. 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.

6. Шугайло Ол-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.

7. Сравнительный анализ расчетных сочетаний нагрузок для зданий, сооружений, разных групп оборудования по требованиям ПНАЭ Г-5-006-87 и НП 306.2.208-2016: звіт про виконання державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки документа ДП «НАЕК «Енергоатом» (реєстраційний № 19-09-11489). Київ : ДНТЦ ЯРБ, 2019.

8. 03.РО.УС.ИЭ.25-17. Инструкция по эксплуатации реакторной установки энергоблока № 3 Запорожской АЭС. Энергодар : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2018, 442 с.

9. 03.ГТ.00.РГ.01-14. Технологический регламент безопасной эксплуатации энергоблока № 3 Запорожской АЭС. Энергодар : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2015, 298 с.

10. Методология сейсмической оценки для целей квалификации оборудования на сейсмические воздействия, ДІТІ 300/376-RU/R.2. UJV Rez, 2009.

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

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

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

References

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

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

3. Organizational and technical measures of the Energoatom for implementing NP 306.2.208-2016 Requirements for seismic design and seismic safety assessment of NPP units. Agreed by SNRIU letter No. 12-23/4260-4697 of 12 March 2021.

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

5. Shugaylo, O.-r., Ryzhov, D., Mustafin, M., Pidhaietskyi, T., Lietkova, 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.

6. 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.

7. Report on the state review of nuclear and radiation safety of Energoatom document "Comparative analysis of the calculated load combinations for buildings, structures, several groups of equipment according to requirements of PNAE G-5-006-87 and NP 306.2.208-2016" (registration No. 19-09-11489). (2019). Kyiv, SSTC NRS.

8. 03.RO.YC.IE.25-17. Operating instructions for reactor pressure vessel of ZNPP-3. (2018). Energodar, Energoatom, 442 p.

9. 03.GT.00.RG.01-14. Technological regulations for ZNPP-3 safe operation. (2015). Energodar, Energoatom, 298 p.

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

11. 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.

Methodological Approaches to Determining the Need to Consider Different Operational Loads of NPP Components in Assessing Their Seismic Resistance in Accordance with Regulatory Requirements

Shugaylo O.-r.¹, Ryzhov D.¹, Zhabin O.¹, Danylchuk I.², Trusov I.², Posokh V.³, Kurov V.³

¹ State Enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

² Separated Division «Scientific and Technical Center» of the State Enterprise «National Nuclear Energy Generating Company Energoatom», Kyiv, Ukraine

³ State Enterprise «State Scientific and Engineering Centre for Control Systems and Emergency Response», Kyiv, Ukraine

Regulatory requirements for seismic resistance assessment of components at nuclear power plants (NPPs) envisage the consideration of various operational loads in combination with seismic loads. Advantages and disadvantages of the generic algorithm proposed by the operating organization to determine the need to consider different load combinations were analyzed previously. It was stated that this aspect should be analyzed in detail for thermomechanical equipment whose seismic resistance was assessed using the GIP WWER. In particular, the impact of non-seismic loads corresponding to conditions of abnormal operation and design basis accidents on the results of seismic resistance assessment of thermomechanical equipment obtained using the GIP-WWER procedure was analyzed. In addition, the issue of correct determination of operational loads corresponding to abnormal operation and design basis accidents for systems and components of NPP units that have no conditions and limits of safe operation established in the technical specifications for power unit safe operation should be resolved.

The article addresses methodological approaches to solving the issues mentioned above.

The article is a part of a series of publications focusing on the consideration of regulatory requirements for combinations of operational and seismic loads in assessing the seismic resistance of NPP components.

Keywords: GIP-WWER, abnormal operation, design basis accident, seismic resistance, load combinations.

Отримано 16.07.2021