

Оцінка сейсмостійкості енергоблоків АЕС України із застосуванням положень НП 306.2.208-2016

- **Буряк Р. Я.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8104-7956>
- **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>
- **Городніченко О.В.**
Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ, Україна
- **Шугайло О-р П.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1044-0299>
- **Шугайло О-й П.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0997-7830>
- **Мустафін М. А.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9340-6223>
- **Підгаєцький Т. В.**
Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4125-4846>

З листопада 2016 р. в Україні чинний нормативно-правовий акт НП 306.2.208-2016 «Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій» [1], розроблений для вдосконалення вимог до оцінки сейсмічної небезпеки майданчиків, проектування сейсмостійких енергоблоків АЕС та оцінки/переоцінки сейсмічної безпеки енергоблоків АЕС України. З метою виконання вимог НП 306.2.208-2016 [1] ДП «НАЕК «Енергоатом» розроблені, погоджені Державною інспекцією ядерного регулювання України (Держатомрегулювання), та реалізуються організаційно-технічні заходи [2] з впровадження НП 306.2.208-2016 [1].

У статті розглянуто поточний стан реалізації ДП «НАЕК «Енергоатом» основних організаційно-технічних заходів [2] з підвищення сейсмостійкості енергоблоків АЕС України, які потрібні відповідно до НП 306.2.208-2016 [1]. Ці заходи, зокрема, стосуються: уточнення сейсмічності майданчиків АЕС за результатами новітніх досліджень, внесення змін в класифікацію (категоризацію із сейсмостійкості)

систем та елементів енергоблоків, аналізу необхідності врахування більшої кількості комбінацій навантажень у сполученні із сейсмічними впливами, виконання уточненої оцінки сейсмостійкості конструкцій, систем та елементів енергоблоків, виконання сейсмічного імовірнісного аналізу безпеки енергоблоків АЕС.

Ключові слова: сейсмічна небезпека, оцінка сейсмостійкості, проєктний землетрус, максимальний розрахунковий землетрус), сполучення навантажень, детерміністичний аналіз сейсмічної небезпеки, імовірнісний аналіз сейсмічної небезпеки.

© Буряк Р. Я., Рижов Д. І., Городніченко О. В., Шугайло О-р П., Шугайло О-й П., Мустафін М. А., Підгаєцький Т. В., 2020

Процес формування та перегляду вимог до обґрунтування сейсмостійкості енергоблоків АЕС спрямований на врахування підвищення рівнів сейсмічності майданчиків порівняно з проєктними за результатами накопичення даних сейсмологічних досліджень, досягнутого рівня науки та техніки в технічних та організаційних рішеннях із забезпечення сейсмічної безпеки АЕС, міжнародного досвіду та практики, міжнародних стандартів з оцінки сейсмостійкості АЕС, рекомендацій Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та вивчення уроків впливів на АЕС сейсмічних подій.

НП 306.2.208-2016 [1] розроблений на заміну ПНАЭ Г-5-006-87 [3]. Детальний опис відмінностей у положеннях НП 306.2.208-2016 [1] та ПНАЭ Г-5-006-87 [3] наведено в роботі [4]. Основні вимоги НП 306.2.208-2016 [1], які раніше не містилися в ПНАЭ Г-5-006-87 [3] та мають враховуватися під час оцінки/переоцінки сейсмостійкості діючих АЕС України, такі:

для енергоблоків АЕС, незалежно від сейсмічності майданчика, пікове значення прискорення горизонтальної складової руху ґрунту під час землетрусу, що відповідає максимальному розрахунковому землетрусу (МРЗ), передбачено не менше 0,1g (відповідно до рекомендацій МАГАТЕ [5]), а проєктування енергоблоків АЕС здійснюється з урахуванням запасу до встановленого рівня сейсмічності майданчика;

сейсмічність майданчика АЕС і параметри сейсмічних впливів визначаються на підставі сейсмологічних досліджень з урахуванням геодинамічних, сейсотектонічних, сейсмологічних, ґрунтових і гідрологічних умов розміщення майданчика;

оцінка сейсмічної небезпеки енергоблоків АЕС виконується із застосуванням детерміністичного та імовірнісного методів аналізу та їх комбінації;

результати імовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки (ІАСН) використовуються як вихідні дані для визначення частот пошкодження активної зони реактора та граничного аварійного викиду;

розширено перелік комбінацій навантажень, які обов'язково застосовуються під час оцінки сейсмостійкості будівель, споруд, обладнання та трубопроводів АЕС;

введено вимоги щодо виконання оцінки/переоцінки існуючих енергоблоків АЕС та вимоги до антисейсмічних попереджувальних та захисних заходів.

Як можна пересвідчитися, відмінності вимог НП 306.2.208-2016 [1] від вимог документа колишнього СРСР ПНАЭ Г-5-006-87 [3] є доволі суттєвими, тому для приведення діючих енергоблоків АЕС у відповідність до нового НП 306.2.208-2016 [1] ДП «НАЕК «Енергоатом» розроблені, погоджені Держатомрегулюванням та реалізуються організаційно-технічні заходи [2]. Далі в цій статті увагу зосереджено на поточному стані справ із урахування положень НП 306.2.208-2016 [1] у здійсненні діяльності ДП «НАЕК «Енергоатом».

Під час реалізації організаційно-технічних заходів [2] в терміни, погоджені Держатомрегулюванням, експлуатуючою організацією передбачено виконання таких робіт:

1. Уточнення сейсмічності на поверхні ґрунту майданчиків АЕС (спектри відгуку, акселерограми, параметри проєктного землетрусу (ПЗ) та МРЗ) за результатами досліджень системами сейсмічного моніторингу майданчиків, а також виконання ІАСН;

2. Внесення змін в класифікацію (категоризацію із сейсмостійкості) систем та елементів енергоблоків відповідно до вимог НП 306.2.208-2016 [1];

3. Виконання порівняльного аналізу розрахункових навантажень для будівель, споруд, обладнання та трубопроводів за вимогами ПНАЭ Г-5-006-87 [3] та НП 306.2.208-2016 [1] і підготовка висновку щодо необхідності/відсутності необхідності виконання додаткових розрахунків;

4. Виконання оцінки сейсмостійкості елементів та конструкцій енергоблоків АЕС I категорії сейсмостійкості, для яких така оцінка не була виконана через зміну (підвищення) категорії сейсмостійкості згідно з вимогами НП 306.2.208-2016 [1], а також елементів та конструкцій енергоблоків АЕС II категорії сейсмостійкості (за необхідності, у разі зміни відповідних параметрів ПЗ);

5. Виконання сейсмічного імовірнісного аналізу безпеки енергоблоків (ІАБ).

Поточний стан виконання ДП «НАЕК «Енергоатом» вказаних заходів наведено в Таблиці 1.

Більш докладна інформація наведена нижче.

Сейсмічність майданчика та сейсмічний моніторинг

Згідно з вимогами НП 306.2.208-2016 [1] та рекомендаціями МАГATE SSG-9 [5] оцінка небезпеки коливань ґрунту майданчиків АЕС має виконуватись детерміністичним аналізом сейсмічної небезпеки (ДАСН) та ІАСН. ДАСН наразі виконано для всіх майданчиків АЕС України, тоді як ІАСН тільки для майданчика ЗАЕС. Для інших АЕС України ІАСН виконується в межах заходів №№ 19106, 29106 та 39106

Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій (К(з)ППРБ) [6].

Впровадження систем постійного сейсмологічного моніторингу майданчиків АЕС України передбачено заходом № 18102 К(з)ППРБ [6]. В межах реалізації цього заходу для всіх майданчиків АЕС України облаштовуються локальні мережі сейсмічних станцій, виконані сейсмологічні спостереження і в період, визначений План-графіками К(з)ППРБ, отримані/уточнені кількісні параметри сейсмічних впливів (PGA, розрахункові акселерограми, спектри відгуку на ґрунті). Наразі зазначені системи введені в промислову експлуатацію на майданчиках ЮУАЕС, РАЕС та ЗАЕС. На ХАЕС роботи з впровадження системи тривають, зокрема

Таблиця 1 – Поточний стан виконання ДП «НАЕК «Енергоатом» основних організаційно-технічних заходів [2].

АЕС	Енергоблок	Сейсмічність майданчика (PGA)		Сейсмічний моніторинг	Сейсмічна перекаатегоризація	Сполучення навантажень з МРЗ, ПЗ	Оцінка сейсмостійкості		СІАБ
		ДАСН	ІАСН				I кат.*	II кат.	
ЗАЕС	1	+	(0,115g)	+	±	-	±	-	+
	2				±	-	±	-	±
	3				±	±	+	-	-
	4				±	-	+	-	-
	5				+	-	±	-	-
	6				±	-	±	-	-
ЮУАЕС	1	+	(0,12g)	+	±	-	+	±	-
	2				±	-	+	±	-
	3				+	-	+	±	-
РАЕС	1	+	(0,1g)	+	±	-	±	-	-
	2				±	-	±	-	-
	3				±	-	+	-	-
	4				±	-	+	-	-
ХАЕС	1	+	(0,1g)	-	±	-	+	-	-
	2				±	-	+	-	-

Прийняті в таблиці позначення та скорочення:

PGA – Peak ground acceleration (пікове прискорення ґрунту під час землетрусу);

I кат. – I категорія сейсмостійкості згідно з НП 306.2.208-2016 [1];

II кат. – II категорія сейсмостійкості згідно з НП 306.2.208-2016 [1];

+ – роботи виконано, звітні документи погоджені з Держатомрегулюванням;

± – роботи виконано частково, звітні документи на стадії погодження з Держатомрегулюванням;

- інформація щодо виконання робіт відсутня, звітні документи не надходили до Держатомрегулювання.

Держатомрегулюванням після проведення державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки (ЯРБ) була погоджена Методика дообстеження майданчика ХАЕС на основі отриманих результатів спостережень за допомогою системи сейсмічного моніторингу.

Уточнення сейсмічної класифікації відповідно до вимог НП 306.2.208-2016 [1]

Згідно з організаційно-технічними заходами [2]: енергоблоки № 3 ЮУАЕС та № 5 ЗАЕС визначені «пілотними» для реалізації першого етапу робіт «Внесение изменений в классификацию систем и элементов энергоблоков в соответствии с требованиями НП 306.2.208-2016»;

для інших енергоблоків АЕС України перегляд сейсмічної класифікації систем та елементів у процесі реалізації етапу 1 [2] повинен бути виконаний до кінця 2020 р.

На початку галузевої діяльності з перегляду сейсмічної категоризації конструкцій, обладнання та трубопроводів енергоблоків АЕС України ЮУАЕС було розроблено документ [7], який містить результати таких робіт, виконаних в межах перегляду сейсмічної категоризації енергоблоків № 1 – № 3 ЮУАЕС:

визначення принципів, критеріїв та переліків елементів, для яких повинен виконуватись аналіз і перегляд сейсмічної категоризації;

аналіз і перегляд сейсмічної категоризації елементів енергоблоків ЮУАЕС;

розроблення обґрунтування змін стосовно сейсмічної категоризації з урахуванням вимог НП 306.2.208-2016 [1] та результатів аналізу систем та елементів.

За результатами виконаного в документі [7] аналізу з'ясовано, що під час приведення існуючої (згідно з ПНАЭ Г-5-006-87 [3]) сейсмічної категоризації елементів та конструкцій (тепломеханічне обладнання та трубопроводи, будівельні конструкції, обладнан-

ня автоматизованої системи керування технологічним процесом, електротехнічне обладнання, елементи систем опалення та вентиляції) у відповідність до НП 306.2.208-2016 [1] можливі такі варіанти змін:

з категорії I на II;

з категорії II на I;

з категорії III на II;

з категорій IIa та IIб на II.

Документ [7] пройшов державну експертизу ЯРБ та погоджений Держатомрегулюванням. Надалі на підставі положень документа [7] та вимог НП 306.2.208-2016 [1] експлуатуючою організацією були розроблені та погоджені з Держатомрегулюванням узагальнені (галузеві) підходи до визначення категорії сейсмостійкості споруд, систем, елементів та обладнання енергоблоків АЕС України згідно з вимогами НП 306.2.208-2016 [1]. Наразі роботи з перегляду сейсмічної категоризації «пілотних» енергоблоків виконані. Для інших енергоблоків АЕС України такі роботи знаходяться в стадії виконання.

Сполучення навантажень з МРЗ, ПЗ

На відміну від ПНАЭ Г-5-006-87 [3], в НП 306.2.208-2016 [1] з урахуванням уроків аварії на АЕС Фукусіма-1 в Японії, а також з метою гармонізації з рекомендаціями МАГАТЕ NS-G-1.6 [8], розширено, завдяки сполученню навантажень нормальної експлуатації (НЕ) + проєктної аварії (ПА) + МРЗ (Таблиця 2), номенклатуру обов'язкових сполучень навантажень, які мають бути розглянуті під час оцінки сейсмостійкості будівельних конструкцій, обладнання та трубопроводів енергоблоків АЕС України.

На цей час експлуатуючою організацією ще не виконані в повному обсязі вимоги НП 306.2.208-2016 [1] до врахування сполучень експлуатаційних та сейсмічних навантажень для будівельних конструкцій,

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз вимог НП 306.2.208-2016 [1] та ПНАЭ Г-5-006-87 [3] до сполучення навантажень

Категорія сейсмостійкості	Сполучення навантажень згідно з НП 306.2.208-2016 [1]	Сполучення навантажень згідно з ПНАЭ Г-5-006-87 [3]
I	НЕ + МРЗ	НЕ + МРЗ
	ПНЕ + МРЗ	ПНЕ + МРЗ*
	НЕ + ПА + ПЗ	НЕ + ПА + ПЗ*
	НЕ + ПА + МРЗ**	–
	НЕ + ПЗ	НЕ + ПЗ
	ПНЕ + ПЗ	ПНЕ + ПЗ*
II	НЕ + ПЗ	НЕ + ПЗ
	ПНЕ + ПЗ	ПНЕ + ПЗ*

Прийняті в таблиці позначення та скорочення:

ПНЕ – порушення нормальної експлуатації;

* – необхідність врахування сполучення визначається проєктною організацією;

** – сполучення застосовується для будівельних конструкцій, обладнання та трубопроводів, що забезпечують локалізуючу функцію безпеки герметичного огородження.

обладнання та трубопроводів. Наразі в процесі реалізації етапу 3 організаційно-технічних заходів [2] експлуатуючою організацією розроблено звіт [9], який містить результати аналізу необхідності/відсутності необхідності врахування додаткових сполучень навантажень, регламентованих НП 306.2.208-2016 [1], під час оцінки сейсмостійкості систем та елементів, на підставі виконаних раніше розрахунків сейсмостійкості. Враховуючи, що виконання розрахунків на всі комбінації навантажень згідно з НП 306.2.208-2016 [1] потребує значних часових та фінансових витрат, з метою оптимізації було вирішено на першому етапі проводити оцінку сейсмостійкості із застосуванням усіх комбінацій навантажень для «пілотно-го» енергоблоку № 3 ЗАЕС. Аспекти практичного використання нормативних вимог до сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень для тепломеханічного обладнання та трубопроводів детально розглянуті в [10]. У [9] проаналізовані тільки трубопроводи та тепломеханічне обладнання енергоблоку № 3 ЗАЕС, оцінка сейсмостійкості якого проводилась методом аналізу (розрахунку), та не розглянуті елементи, для яких оцінка сейсмостійкості проводилась методами випробувань та досвіду експлуатації (процедура GIP-WWER) або їх комбінацій [11].

Оцінка сейсмостійкості та кваліфікація обладнання на сейсмічні впливи

Події на АЕС Кашивазакі-Каріва та Фукусіма-1 в Японії засвідчили, що реальні впливи землетрусів можуть перевищувати прийняті проєктні значення [12]. Унаслідок цього, постало питання необхідності уточнення сейсмічної небезпеки та встановлення сейсмічного запасу до проєктних сейсмічних вимог. Наразі за результатами сейсмологічних досліджень для майданчиків АЕС України визначені такі значення PGA під час землетрусу (Таблиця 3).

Оцінці сейсмостійкості та кваліфікації на сейсмічні впливи в межах К(з)ППРБ [6] підлягають обладнання, трубопроводи, повітропроводи, конструкції, будівлі та споруди енергоблоків АЕС України I категорії сейсмостійкості, які, зокрема, необхідні для виконання критичних функцій безпеки: безпечна зупинка реактора і утримання його в такому стані не-

обхідний час; відведення з активної зони і басейну витримки залишкового тепла протягом необхідного часу; обмеження виходу радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Оцінка сейсмостійкості будівельних конструкцій, обладнання та трубопроводів і кваліфікація обладнання на уточнені сейсмічні впливи (Таблиця 3), передбачена заходами К(з)ППРБ [6] №№ 10101, 18101 (для реакторів серії ВВЕР/В-320), №№ 20101, 28101 (для реакторів серії ВВЕР/В-302, В-338), №№ 30101, 38101 (для реакторів серії ВВЕР/В-213). Незавершеними на поточний момент є роботи з вищезазначених заходів К(з)ППРБ [6] на таких енергоблоках:

№№ 1, 2 ЗАЕС (оцінка сейсмостійкості);

№№ 5, 6 ЗАЕС (оцінка сейсмостійкості та кваліфікація обладнання);

№№ 1, 2 РАЕС (оцінка сейсмостійкості).

Вказані роботи мають бути завершені в установлені в План-графіках К(з)ППРБ [6] терміни.

Надалі може виникнути необхідність виконання оцінки/переоцінки сейсмостійкості обладнання, трубопроводів, повітропроводів, конструкцій, будівель та споруд енергоблоків АЕС України за результатами проведення уточнення сейсмічної класифікації (етап 1 організаційно-технічних заходів [2]) та після отримання/уточнення кількісних параметрів сейсмічних впливів за результатами сейсмічного моніторингу майданчиків АЕС України.

СІАБ

З метою визначення ступеня уразливості енергоблоків АЕС України від сейсмічних впливів та оцінки внеску сейсмічних впливів у інтегральні значення частоти пошкодження активної зони, частоти пошкодження палива та частоти граничного аварійного викиду необхідно виконати СІАБ. К(з)ППРБ [6] передбачено виконання СІАБ (заходи № 19106, № 29106 та № 39106 з урахуванням серії реактора – В-320, В-302/338, В-213 відповідно). В процесі виконання СІАБ енергоблоків АЕС України ДП «НАЕК «Енергоатом» розроблена Концепція [13], яка має бути використана як основа для розробки детального галузевого технічного керівництва з СІАБ енергоблоків АЕС України.

Таблиця 3 – Еволюція PGA майданчиків АЕС України

АЕС	Проєктне PGA		Уточнене PGA за результатами досліджень		
	MP3	ПЗ	ДАСН MP3	З запасом MP3	ІАСН (MP3/ПЗ)
ХАЕС	0,05g	0,025g	0,08g	0,1g	-
РАЕС			0,08g	0,1g	-
ЮУАЕС			0,093g	0,12g	-
ЗАЕС			0,115g	0,15g	0,17g/0,085g

Плотним енергоблоком для виконання СІАБ є енергоблок № 1 ЗАЕС. У процесі виконання СІАБ енергоблока № 1 ЗАЕС розроблено та погоджено Держатомрегулюванням Технічне керівництво [14], згідно з яким був виконаний СІАБ енергоблока № 1 ЗАЕС, результати якого після проведення державної експертизи ЯРБ прийняті Держатомрегулюванням. Державну експертизу матеріалів СІАБ енергоблока № 2 ЗАЕС наразі завершено, матеріали потребують доопрацювання. Для інших енергоблоків АЕС України роботи з СІАБ виконуються під час реалізації заходів К(з)ППРБ [6] № 19106, № 29106 та № 39106 та повинні бути завершені в установлені в План-графіках К(з)ППРБ [6] терміни.

Висновки

Відмінності вимог НП 306.2.208-2016 [1] від вимог документа колишнього СРСР ПНАЭ Г-5-006-87 [3] є доволі суттєвими, тому для приведення діючих енергоблоків АЕС у відповідність до НП 306.2.208-2016 [1] ДП «НАЕК «Енергоатом» були розроблені, погоджені з Держатомрегулюванням та наразі реалізуються відповідні організаційно-технічні заходи [2].

Основні заходи стосуються уточнення сейсмічності майданчиків АЕС за результатами новітніх досліджень, внесення змін у класифікацію (категоризацію із сейсмістійкості) систем та елементів енергоблоків, аналізу необхідності врахування більшої кількості комбінацій навантажень у сполученні із сейсмічними впливами, виконання уточненої оцінки сейсмістійкості конструкцій, систем та елементів енергоблоків, виконання СІАБ енергоблоків АЕС.

Проведений аналіз поточного стану реалізації ДП «НАЕК «Енергоатом» зазначених організаційно-технічних заходів [2] засвідчив різний ступінь їх завершеності на енергоблоках АЕС України. Їх виконання регулюється термінами, встановленими в погоджених Держатомрегулюванням План-графіках К(з)ППРБ [6]. З урахуванням наведеного, наразі можна виділити заходи, від яких, на думку авторів цієї статті, безпосередньо залежить ефективність та строки завершення переоцінки сейсмістійкості конструкцій, систем та елементів енергоблоків АЕС України:

впровадження системи постійного сейсмологічного моніторингу майданчика ХАЕС;

виконання імовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки майданчиків ЮАЕС, ХАЕС, РАЕС;

завершення сейсмічної перекатегоризації конструкцій, обладнання та трубопроводів;

визначення навантажень у сполученні із сейсмічними впливами для кожного енергоблока, які потребуватимуть додаткової оцінки сейсмістійкості конструкцій, систем та елементів енергоблоків АЕС.

Список використаної літератури

1. НП 306.2.208-2016. Вимоги до сейсмістійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 17.10.2016 року № 175, зареєстр. у М-ві юстиції України 07.11.2016 року за № 1449/29579.
2. Организационно-технические мероприятия ГП «НАЭК «Энергоатом» по внедрению НП 306.2.208-2016 «Вимоги до сейсмістійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій». Київ : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2017.
3. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 29 с.
4. Рижов Д. І., Шугайло О-й П., Шугайло О-р П., Кендзе-ра О. В., Мар'єнков М. Г., Шендерович В. Я., Буряк Р. Я. Про сучасні вимоги до сейсмістійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій України. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2017. № 2(74). С. 9 – 13. doi: 10.32918/nrs.2017.2(74).02.
5. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. IAEA Specific Safety Guide No. SSG-9, Vienna, 2010.
6. Комплексна (зведена) програма підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 07.12.2011 № 1270.
7. Технический отчет. Пересмотр сейсмической категории оборудования (Этап № 2, заключительный). Отчет по сейсмической категоризации оборудования, систем и элементов энергоблоков ОП ЮАЭС. ДС 01/18-20.2.
8. Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants. IAEA Safety Guide No. NS-G-1.6, Vienna, 2003.
9. 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.
10. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Мустафін М. А., Підгаєцький Т. В., Леткова Н. Г. Окремі аспекти практичного використання нормативних документів до сполучення експлуатаційних та сейсмічних навантажень для тепломеханічного обладнання та трубопроводів. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 4(84). С. 4 – 10. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).01.
11. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Сахно О. В., Павлів Є. А., Хамровська Л. В. Щодо вимог до сполучень навантажень під час оцінки сейсмістійкості конструкцій, систем та елементів непрямыми методами. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2020. № 1(85). С. 56 – 61. doi: 10.32918/nrs.2020.1(85).06.
12. Рижов Д. І., Шугайло О-й П., Шугайло О-р П., Буряк Р. Я., Хамровська Л. В., Крицька Н. І. Огляд сучасних міжнародних підходів до сейсмістійкого проектпроектуювання та оцінки сейсмічної небезпеки енергоблоків АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. № 4(56). С. 23 – 26.
13. Концепция выполнения вероятностной оценки частоты повреждения активной зоны и частоты предельного аварийного выброса от сейсмического воздействия для энергоблоков АЭС Украины. Киев : ГП «НАЭК «Энергоатом», 2011.
14. Запорожская АЭС. Энергоблок № 1. Результаты исследований сейсмических воздействий. Разработка сейс-

мического вероятностного анализа безопасности (ВАБ) энергоблока № 1 ОП ЗАЭС. Разработка технического руководства по выполнению ВАБ ВЭВ для сейсмического исходного события. АТ75/208-13,100,ОД.3. Энергодар : ОП «Запорожская АЭС», 2015.

15. Технический отчет. Вероятностный анализ сейсмической опасности площадки ЗАЭС согласно рекомендациям МАГАТЭ SSG-9 по процедуре PSHA. № ЗАЭС.75/137-13.ОТ.01.

References

1. NP 306.2.208-2016. Requirements for seismic resistance design and for evaluation of seismic safety of Ukrainian NPPs 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. Organizational and technical measures of Energoatom for implementation of NP 306.2.208-2016 "Requirements for Seismic Resistance Design and for Evaluation of Seismic Safety of Ukrainian NPPs", Energoatom, Kyiv, 2017.

3. PNAEG-5-006-87. Standards for Design of Seismic Resistant Nuclear Power Plants. Moscow, Energoatomizdat, 1989, 29 p.

4. 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. doi: 10.32918/nrs.2017.2(74).02.

5. IAEA Specific Safety Guide No. SSG-9. Seismic hazards in site evaluation for nuclear installations. Vienna, 2010.

6. Comprehensive (integrated) safety improvement program for Ukrainian NPPs approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1270 dated 07 December 2011.

7. DC 01/18-20.2. Technical Report. Revision of equipment seismic categorization (Stage 2, final). Report on seismic categorization of equipment, systems and components of SUNPP units. SUNPP, 2018.

8. IAEA Safety Guide No. NS-G-1.6. Seismic design and qualification for nuclear power plants. Vienna, 2003.

9. 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, Energoatom, Kyiv, 2018.

10. Shugaylo, O-r., Ryzhov, D., Mustafin, M., Pidhaitskyi, 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), 4-10. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).01.

11. Shugaylo, O-r., Ryzhov, D., Sakhno, O., Pavliv, Ye., Khamrovska, L. (2020). Regarding requirements to load combinations in case of evaluation of SSC seismic resistance by indirect methods. Nuclear and Radiation Safety. 5(85), 56-61. doi: 10.32918/nrs.2020.1(85).06.

12. Ryzhov, D., Shugailo, O-i., Shugaylo, O-r., Buryak, R., Khamrovska, L., Krytska, N. (2012). Review of state-of-the-art international approaches to seismic design and seismic safety assessment of NPP units. Nuclear and Radiation Safety. 4(56), 23-26.

13. The concept of performing the probabilistic assessment of core damage frequency and limit release frequency from seismic impact for Ukrainian NPP units, Energoatom, Kyiv, 2011.

14. Zaporizhzhya NPP. Unit 1. Results of seismic impacts investigations. Development of seismic probabilistic safety assessment (PSA) of ZNPP-1. Development of technical guideline for PSA of extreme external impacts for seismic event. АТ75/208-13,100,ОД.3, Zaporizhzhya NPP, Enerhodar, 2015.

15. Technical Report. Probabilistic seismic hazard assessment of ZNPP site according to PSHA procedure using IAEA SSG-9 recommendations. ZNPP.75/137-13.ОТ.01.

Ukrainian NPP Seismic Resistance Assessment Using Provisions of Regulatory Guideline NP 306.2.208-2016

Buryak R.¹, Ryzhov D.¹, Horodnichenko O.², Shugaylo O-r.¹, Shugailo O-i.¹, Mustafin M.¹, Pidhaitskyi T.¹

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

² State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Since November 2016, the new Regulatory Guideline NP 306.2.208-2016 "Requirements for Seismic Resistance Design and for Evaluation of Seismic Safety of Ukrainian NPPs" [1] has been in force in Ukraine. This Guideline was developed to improve requirements for NPP site seismic hazard assessment, NPP seismic resistance design and assessment/review of Ukrainian NPP seismic safety.

Energoatom developed the Organizational and Technical Measures for Implementation of NP 306.2.208-2016 [2] approved by State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine to perform NP 306.2.208-2016 [1] requirements.

The paper considers the status of Energoatom in implementation of the main organizational and technical measures [2] on increasing seismic resistance of Ukrainian NPP units according to NP 306.2.208-2016 [1]. In particular, these measures are the following: specification of NPP site seismicity considering results of new studies; introduction of changes into classification (seismic categorization) of systems and components; analysis of necessity to consider additional load combinations with seismic loads, specification of assessing seismic resistance of structures, systems and components; seismic probabilistic safety assessment of NPP units.

Keywords: seismic hazard, seismic resistance assessment, operating basis earthquake, safe shutdown earthquake, load combination, deterministic seismic hazard assessment, probabilistic seismic hazard assessment.

Отримано 28.04.2020.