



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-15-2021-2>

УДК 624.012.45/46.006.06



БАМБУРА А.М.

Доктор технічних наук, професор, зав. відділом надійності конструкцій будівель і споруд ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
e-mail: abambura@gmail.com,
тел. (044)249-37-44.
ORCID: 0000-0003-1402-3345



САЗОНОВА І.Р.

Інженер, старший науковий співробітник ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»,
e-mail: rostislavovna@gmail.com,
тел. (044)249-38-88.
ORCID:0000-0002-8226-3589

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ОБОЛОНОК ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС З ВВЕР 1000

АНОТАЦІЯ

Більшість енергоблоків атомних станцій України знаходяться на стадії вичерпання свого проектного терміну експлуатації. Тому дуже гостро стоїть питання продовження терміну експлуатації енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) і, отже, оцінки залишкового ресурсу захисних оболонок. В ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» були розроблені універсальні комп'ютерні моделі енергоблоків АЕС з ВВЕР-1000 типу В-302 та В-338, що враховують всі конструктивні особливості захисних оболонок, сполучень навантажень і можливості варіації рівня попереднього натягу канатів. Розроблені моделі дозволили оцінити працездатність локалізуючої системи безпеки - системи герметичного огороження у всіх режимах експлуатації, включаючи поєднання навантажень при проектній аварії і максимальному розрахунковому землетрусі. Метою даної роботи є: на основі виконання чисельних досліджень несучої здатності захисних оболонок енергоблоків при усіх режимах експлуатації розробити методологію щодо визначення раціонального натягу канатів по рядах, при якому зусилля в канатах всіх трьох

рядів при дії аварійного сполучення навантажень при нормальній експлуатації плюс проектна аварія плюс максимальний розрахунковий землетрус (НЕ + ПА + МРЗ) розподіляються найбільш рівномірно і, як наслідок, знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварії.

В результаті виконаних чисельних досліджень несучої здатності захисних оболонок енергоблоків в усіх режимах експлуатації і визначення раціонального натягу канатів по рядах при дії НЕ + ПА + МРЗ встановлено: мінімально-допустиме зусилля натягу армоканатів в циліндричній частині захисної оболонки енергоблоку при відсутності двох канатів; мінімально-допустиме зусилля натягу армоканатів в циліндричній частині захисної оболонки енергоблоку при відсутності трьох канатів. Визначено раціональний розподіл натягу канатів між рядами, при якому зусилля в АК всіх трьох рядів при дії НЕ + ПА + МРЗ розподіляються найбільш рівномірно і, як наслідок, знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: захисна оболонка, енергоблок, попередньо напружені канати, проектна аварія, максимальний розрахунковий землетрус.



NUMERICAL INVESTIGATIONS OF PROTECTIVE SHELLS OF NPP ENERGY UNITS WITH PRESSURIZED WATER REACTOR (VVER)

ABSTRACT

Most of the energy units of nuclear power plants in Ukraine are at the stage of exhausting their design lifespan. Therefore, the issue of extending the lifespan of energy units of nuclear power plants (NPP) and, consequently, assessing the residual life of protective shells is very acute. State Enterprise "The State Research Institute of Building Constructions" developed universal computer models of NPP energy units from VVER-1000 type V-302 and V-338, taking into account all the design features of protective shells, load connections and the possibility of varying the level of pre-tensioning of ropes. The developed models made it possible to evaluate the operability of a localizing safety system - a hermetic enclosure system in all operating modes, including a combination of loads during a design basis accident and a maximum design earthquake. The purpose of this work is: on the basis of numerous studies of the load-bearing capacity of the protective shells of energy units in all operating modes, to develop a methodology for determining the rational tension of the ropes in rows, at which the forces in the ropes of all three rows under the action of emergency load coupling during normal operation plus design basis accident plus the maximum design earthquake (NO + DBA + MDE) is distributed most evenly and, as a result, the probability of breaking the ropes of the outer row during an accident is reduced.

As a result of numerous studies of the load-bearing capacity of the protective shells of energy units in all modes of operation and the determination of the rational tension of the ropes in rows under the action of NO+DBA+MDE, the following has been established: minimum allowable tensile force of reinforcing ropes in the cylindrical part of the protective shell of the energy unit in the absence of two ropes; minimum allowable tensile force of reinforcing ropes in the cylindrical part of the protective shell of the energy unit in the absence of three ropes. The rational distribution of rope tension between the rows is determined, in which the efforts in the reinforcing ropes of all three rows under the action of NO+DBA+MDE are distributed most evenly and, as a result, the probability of breaking the ropes of the outer row in case of an accident is reduced.

KEY WORDS: protective shell, energy unit, pre-tensioning of ropes, design basis accident, maximum design earthquake.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Більшість енергоблоків атомних станцій України знаходяться на стадії вичерпання свого

проектного терміну експлуатації. Тому дуже гостро стоїть питання продовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС і, отже, оцінки залишкового ресурсу захисних оболонок. В ДП НДІБК були розроблені універсальні комп'ютерні моделі енергоблоків АЕС з ВВЕР-1000 типу В-302 та В-338, що враховують всі конструктивні особливості захисних оболонок, сполучень навантажень і можливості варіації рівня попереднього натягу канатів. Розроблені моделі з урахуванням результатів випробовувань фрагмента захисної оболонки (ЗО) [1, 2] дозволили оцінити працездатність ОСБ-СГО (локалізуюча система безпеки - система герметичного огороження) у всіх режимах експлуатації, включаючи поєднання навантажень при проектній аварії (ПА) і максимальному розрахунковому землетрусі (МРЗ). Моделі також було використано для виконання чисельних експериментальних досліджень впливу визначальних факторів на несучу здатність і надійність (ЗО). Складність конструкції захисних оболонок в сукупності з навантаженнями, зумовленими процесами, що протікають в гермооб'ємі, і зовнішніми впливами, не дозволяє виконати оцінку працездатності АСБ-СГО традиційними інженерними методами і вимагає застосування деталізованих просторових моделей ЗО і виконання розрахунків сучасними програмними комплексами.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

На основі виконання чисельних досліджень несучої здатності захисних оболонок енергоблоків при усіх режимах експлуатації розробити методологію щодо визначення раціонального натягу канатів по рядах, при якому зусилля в канатах всіх трьох рядів при дії НЕ + ПА + МРЗ розподіляються найбільш рівномірно і, як наслідок, знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварії.

Результати досліджень дозволять раціонально виконувати натяг попередньо напружених канатів по рядах з забезпеченням необхідної несучої здатності, тріщиностійкості і деформативності ЗО і оцінити можливість продовження ресурсу енергоблоків атомних станцій.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Конструктивні особливості ЗО. Захисна оболонка реакторного відділення (РВ) енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 є елементом системи глибокоешелюваного захисту реакторної установки (РУ), ізолюючи її від навколишнього природного середовища і забезпечуючи, при потенційно можливих аваріях в РВ, локалізацію радіоактивних речовин в підоболонковому просторі. Надійність і працездатність захисної оболонки, в тому числі обмеження формозміни (деформацій) залізобетонних конструкцій (ЗОК)



- можливість задання будь-якої конфігурації зусиль в АК та ін.

Розрахункова схема складається з дев'яти шарів об'ємних скінчених елементів (СЕ), що моделюють роботу залізобетонних конструкцій, з оболонкових СЕ, що моделюють ГСО, та з стержневих СЕ, що описують роботу армоканатів. Канати в циліндричній частині розташовані в три ряди і огинають оболонку по гелікоїдальній траєкторії (рис. 2а).

В середньому ряді запроєктовано 92 каната і по 46 канатів в крайніх шарах. Причому, канати середнього ряду у верхній частині циліндра поділяються ще на два ряди. Канати купольної частини розташовані у два паралельні ряди з близькою до ортогональної взаємної орієнтацією (рис. 2б). Армоканати циліндричної та купольної частин мають загальні вузли тільки з тим шаром бетону, на який передають зусилля обтиску. Зв'язок з зовнішнім шаром бетону відсутній. Детальний опис розрахункової моделі захисної оболонки наведено у [1].

Розрахункові передумови і план чисельних досліджень.

Визначення раціонального рівня натягу армоканатів в залежності від розташування ряду виконувалось для аварійного сполучення навантажень НЕ+ПА+МРЗ відповідно до табл. 1 [3]. На першому етапі чисельних досліджень було визначено мінімально-допустиме контрольоване зусилля натягу АК СПЗО для двох варіантів подій.

Варіант 1 - в циліндричній частині ЗО з будь яких причин відсутній один канат і відбулась відмова одного канату в процесі експлуатації енергоблоку. Це зусилля натягу нетто (з враху-

ванням втрат) склало 770 тс в середньому для всіх канатів енергоблоку.

Варіант 2 - в циліндричній частині ЗО з будь яких причин відсутні два канати і відбулась відмова одного канату в процесі експлуатації енергоблоку. В такому випадку середнє зусилля натягу нетто склало 780 тс.

Це підтверджує вимоги, встановлені у технічних регламентах безпечної експлуатації енергоблоків такого типу:

- при обриві одного канату в циліндрі та/або куполі блок може працювати у нормальному режимі до найближчого планово-попереджувального ремонту;
- при обриві більше одного канату в циліндрі та/або куполі блок переводять до режиму "холодне зупинення" до заміни каната.

При виконанні чисельних досліджень враховувалося, що всі канати не можуть мати однаковий рівень натягу. Але середній рівень натягу нетто повинен забезпечуватися для групи канатів з 10-12 штук.

При визначенні раціонального рівня натягу АК було прийнято такі передумови:

- 1 - середній рівень натягу армоканатів внутрішнього і зовнішнього рядів дорівнює середньому рівню натягу канатів середнього ряду. Це дозволяє забезпечити симетричний розподіл зусиль обтиску циліндричної частини захисної оболонки.
- 2 - величина натягу армоканатів збільшується від зовнішнього ряду до внутрішнього ряду. При такому розподілі зусиль натягу знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварійному

а)

б)

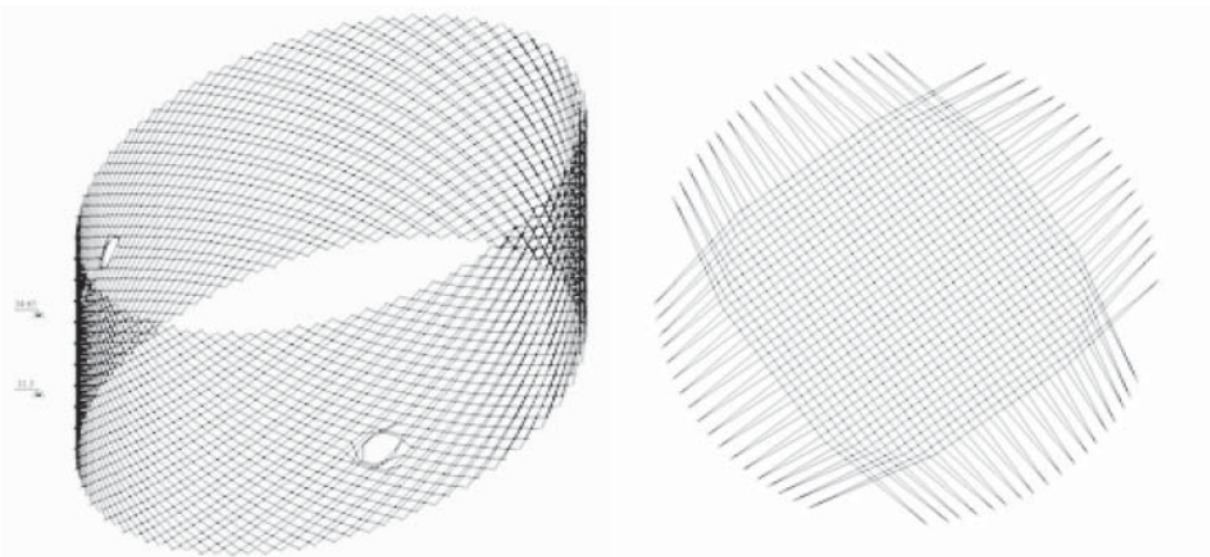


Рисунок 2 – Схема розташування канатів у циліндричній (а) та купольній (б) частині захисної оболонки



сполученні навантажень НЕ+ПА+МРЗ, бо саме в цих канатах при проходженні аварії виникають максимальні додаткові зусилля розтягу.

3 - розглянутий діапазон зусиль в АК становить від 730 тс до 810 тс. При виконанні розрахунків розглянуто чотири комбінації рівнів натягу армоканатів в циліндричній частини ЗО для варіанту №1 і три комбінації для варіанту №2 (таблиця 1).

Таким чином, зусилля в канатах середнього ряду для всіх комбінацій розрахунків прийнято 770 тс для варіанту №1 і 780 тс для варіанту №2, а зусилля в канатах зовнішнього і внутрішнього рядів варіюються.

Таблиця 1 - Комбінації рівнів натягу канатів по рядах

№ комбінації	Рівні натягу канатів, тс		
	Зовнішній ряд	Середній ряд	Внутрішній ряд
Варіант №1			
Комбінація №1	760	770	780
Комбінація №2	750	770	790
Комбінація №3	740	770	800
Комбінація №4	730	770	810
Варіант №2			
Комбінація №1	770	780	790
Комбінація №2	760	780	800
Комбінація №3	750	780	810

Для кожної комбінації виконаний аналіз напружень, що виникають в елементах ГСО при аварійному сполученні НЕ+ПА+МРЗ. Для кожної комбінації виконано аналіз величини зусиль в канатах при аварійному сполученні для найбільш небезпечної зони циліндричної частини ЗО. У цій зоні виділено дві ділянки для ЗО за варіантом №1 (рис. 3) і дві ділянки для ЗО за варіантом №2 (рис. 4).

Варіант №1:

- 1 - ділянка з відсутнім канатом;
- 2 - ділянка з максимальними напруженнями.

Варіант №2:

- 3 - ділянка перетину каналотворювачів, в яких відсутні АК середнього і внутрішнього рядів;
- 4 - ділянка з максимальними напруженнями.

Несуча здатність перерізів конструктивних елементів ЗО визначається відповідно до чинних нормативних документів України [4-12].

Розрахунок виконується з використанням «стиснено-розтягнутих» моделей.

Розрахунковий опір бетонного стисненого умовного елемента в зоні з попе-

речними напруженнями стиску або без них визначається виразом:

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} = 17 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий опір бетонних стиснутих умовних елементів з тріщинами визначається за формулою:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot v f_{cd} = 0,6 \cdot 0,912 \cdot 17 = 9,3 \text{ МПа,}$$

де

$$v = 1 - f_{ck} / 250 = 1 - 22 / 250 = 0,912.$$

Таким чином, максимальні напруга, які можуть сприйняти СЕ стисненого шару без тріщин, визначаються величиною міцності бетону на стиск $\sigma_{Rd,max} = f_{cd} = 17 \text{ МПа}$, а стисненого шару, в якому від поперечних деформацій розкриваються тріщини, величиною $\sigma_{Rd,max} = f_{cd} = 9,3 \text{ МПа}$.

Максимальні напруження, які можуть сприйняти армовані розтягнуті умовні елементи, визнача-



Рисунок 3 – Ділянки з максимальними напруженнями (варіант №1)

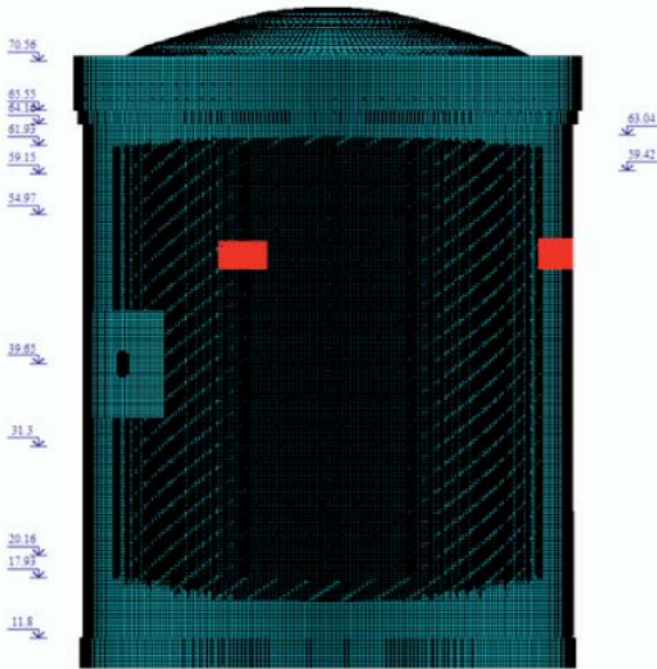


Рисунок 4 – Ділянки з максимальними напруженнями (варіант №2)

ються кількістю арматури по кожному напрямку. Максимальні напруження в неармованих розтягнутих умовних елементах визначаються величиною граничного зусилля, яке може сприйняти елемент перед утворенням тріщин:

$$\sigma_{max} = f_{ctk,005} = 1,8 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення опору розтягуванню арматурних канатів визначається за формулою (3.20) ДСТУ Б В.2.6-156: 2010 [6]:

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1335}{1,2} = 1112 \text{ МПа}$$

- $f_{p0,1k}$ - характеристичне значення 0,1% умовної межі текучості для попередньо напруженої арматури;
- γ_s - коефіцієнт надійності для арматури, який приймається за таблицею 2.1 ДБН В.2.6.-98: 2009 [5]. Тоді несуча здатність одного каната дорівнює $N = f_{pd} \cdot A_p = 1112 \cdot 0,0089 = 9,89 \text{ МН} \approx 1000 \text{ тс}$. Наведена в технічних умовах на канати ТУ У 28.7-26444970-001:2009 величина випробувального зусилля в канаті щонайменше 1250 тс також відповідає характеристичними значеннями умовної межі текучості. Таким чином, несуча здатність каната становить 1000 тс.

Навантаження, що входять до аварійного сполучення НЕ+ПА+МРЗ:

- навантаження від власної ваги всіх конструктивних елементів захисної оболонки енергоблоку;
- навантаження від натягу армоканатів (окремо для кожного ряду циліндричної частини ЗО);
- навантаження на ГСО від надлишкового тиску 0,35 МПа;
- навантаження на ГСО від температури внутрішнього середовища при ПА;
- навантаження від температури при ПА для кожного шару скінчених елементів циліндра та купола (розподіл температури по товщині циліндра та купола прийнято за лінійним законом);
- кранові навантаження;
- сейсмічні навантаження інтенсивністю 7 балів [6, п. 11] по трьох напрямках у вигляді інерційних зусиль, що були отримані при розрахунку динамічної моделі ЗО на поверхні спектри відгуку.

Алгоритм визначення сумарних зусиль в армоканатах.

1. Виділяється зона з максимальними напруженнями розтягу.
2. Для кожного шару скінчених елементів (від внутрішнього шару №1 до зовнішнього шару №9) визначається середнє напруження розтягу або стиску. Для цього виділяються СЕ відповідного шару, формується таблиця напружень і визначається середня величина горизонтальних та вертикальних напружень.
3. Отримані напруження порівнюються з розрахунковим опором стислих і розтягнутих умовних елементів і арматури.
4. Напруження, що виникають в неармованих шарах, передаються на АК відповідного ряду у вигляді додаткових зусиль.
5. Загальне зусилля в армоканатах визначається як сума зусиль, отриманих в результаті розрахунку моделі, і додаткових зусиль в неармованих шарах циліндра.

Виходячи з аналізу результатів розрахунку, визначається раціональний натяг канатів по рядах, при якому зусилля в канатах всіх трьох рядів при дії НЕ+ПА+МРЗ розподіляються найбільш рівномірно і, як наслідок, знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварії.

Напруження, які може сприйняти шар, обчислюються наступним чином:

- визначаються граничні зусилля, які може сприйняти арматура на смузї шириною 1 м $N_y = A_s \cdot f_{yd}$;
- отримане зусилля ділиться на площу



відповідного шару (1-б).

Вважається, що всі зусилля розтягу повинні сприйматися арматурою.

Результати чисельних досліджень.

Аналіз напружень, що виникають в елементах ГСО при сполученні НЕ+ПА+МРЗ, показав, що величина напружень не залежить від комбінації рівнів натягу канатів по рядах, якщо загальний рівень натягу АК не змінюється. Сумарні зусилля в армоканатах за варіантом №1 при аварійному сполученні НЕ+ПА+МРЗ в залежності від рівня натягу канатів по рядах наведені в таблиці 2.

Виходячи з результатів розрахунку найбільш раціональним розподілом рівня натягу між рядами АК СПЗО є комбінація №2, при якій зусилля в АК всіх трьох рядів при дії НЕ + ПА + МРЗ розподіляються найбільш рівномірно і, як наслідок, знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварії.

Таблиця 2 - Результуючі зусилля в канатах за варіантом №1 при аварійному сполученні НЕ+ПА+МРЗ

№ комбінації	Зусилля в канатах, тс			
	Зовнішній ряд	Середній ряд		Внутрішній ряд
		На локальній ділянці	середні	
Величина натягу однакова для усіх рядів	830 (770)	834 (770)	782 (770)	784 (770)
Комбінація №1	828 (760)	834 (770)	781 (770)	792 (780)
Комбінація №2	819 (750)	834 (770)	781 (770)	801 (790)
Комбінація №3	808 (740)	834 (770)	781 (770)	812 (800)
Комбінація №4	800 (730)	834 (770)	781 (770)	820 (810)

Примітка: У дужках наведені початкові значення натягу канатів.

Таблиця 3 - Результуючі зусилля в канатах за варіантом №2 при аварійному сполученні НЕ+ПА+МРЗ

№ комбінації	Усилия в канатах, тс				
	Зовнішній ряд		Середній ряд		Внутрішній ряд
	На локальній ділянці	середні	На локальній ділянці	середні	
Комбінація №1	916	833 (770)	856	786 (780)	794 (790)
Комбінація №2	906	823 (760)	856	786 (780)	803 (800)
Комбінація №3	897	814 (750)	856	786 (780)	811 (810)

Примітка: У дужках наведені початкові значення натягу канатів.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаних чисельних досліджень несучої здатності захисних оболонок енергоблоків в усіх режимах експлуатації і визначення раціонального натягу канатів по рядах при дії НЕ + ПА + МРЗ встановлено:

- мінімально-допустиме зусилля натягу армоканатів в циліндричній частині захисної оболонки енергоблоку при відсутності (з будь якої причини) двох канатів складає 770 тс;
- мінімально-допустиме зусилля натягу армоканатів в циліндричній частині захисної оболонки енергоблоку при відсутності (з будь якої причини) трьох канатів складає 780 тс.

Визначено раціональний розподіл натягу канатів між рядами, при якому зусилля в АК всіх трьох рядів при дії НЕ + ПА + МРЗ розподіляються найбільш рівномірно і, як наслідок, знижується ймовірність обриву канатів зовнішнього ряду при аварії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- 1 Бамбура А.Н. Разработка расчетной модели защитных оболочек энергоблоков АЭС/ А.Н. Бамбура, И.Р. Сазонова, В.В. Гичко// Міжвідомчий наук.-техн. зб. Будівельні конструкції, вип. 82 – Київ, ДП НДІБК, 2015, с. 238-245.
- 2 Experimental Study of Fragment of Prestressed Containment of Nuclear Power Plant Unit. Експериментальні дослідження фрагменту попередньо напруженої захисної оболонки енергоблоку атомної станції. Bambura A., Sazonova I., Karpenko A., Zharko L., Fesenko O., Iniushev V., Zhygalov I., Posokh V. Nuclear and Radiation Safety. 2021. №1(89). С. 49-58. [https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1\(89\).06](https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1(89).06)
- 3 НП 306.2.208 – 2016. Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних



- станцій. / Державна інспекція ядерного регулювання України, 2016.
- 4 ДБН В.1.1-12:2014. «Будівництво у сейсмічних районах України» / Мінрегіон України: – ДП «Укрархбудинформ», Київ:2014.
 - 5 ДБН В.2.6.-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.» Офіц. вид. Київ: М-во регіонального розвитку та будівництва України, 2011. – 71 с.
 - 6 ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
 - 7 НП 306.2.099 2004. Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки.
 - 8 НП 306.2.141 2008. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій./ Державна інспекція ядерного регулювання України, 2008.
 - 9 ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування./ Мінрегіон України: ДП «Укрархбудинформ», Київ: 2014.
 - 10 ПнН АЭ 5.6. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа
 - 11 ПНАЭ Г 5 006 87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций
 - 12 ПНАЭ Г 10 007 89. Нормы проектирования железобетонных сооружений локализующих систем безопасности атомных станций

REFERENCES

- 1 Bambura A.N. (2015). Development of a computational model for the protective shells of NPP power units / A.N. Bambura, I.R. Sazonova, V.V. Gichko. Building Constructions. Kyiv: GP NIISK.
- 2 Bambura A., Sazonova I., Karpenko A., Zharko L., Fesenko O., Iniushev V., Zhygalov I., Posokh V. (2021). Experimental Study of Fragment of Prestressed Containment of Nuclear Power Plant Unit. Nuclear and Radiation Safety, 1(89), 49-58. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1\(89\).06](https://doi.org/10.32918/nrs.2021.1(89).06)
- 3 NP 306.2.208 - 2016. Requirements for seismic design and seismic safety assessment of nuclear power units.
- 4 Construction in seismic regions of Ukraine: DBN V.1.1-12: 2014. (2014).
- 5 Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Terms: DBN B.2.6.-98:2009. (2011).

- 6 Structures of buildings and constructions. Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules: DSTU B B.2.6-156:2010. (2011).
- 7 General requirements for continued operation of NPP power units beyond the design period based on the results of periodic safety reassessment: NP 306.2.099 2004.
- 8 Terms for ensuring the safety of nuclear power plants: NP 306.2.141 2008.
- 9 Steel structures. Design standards: DBN B.2.6-198:2014
- 10 Building design standards for NPPs with reactors of various types: PiN AE-5.6.
- 11 Design standards for earthquake-resistant nuclear power plants: PNAE G-5-006-87.
- 12 Standards for the design of reinforced concrete structures for containment safety systems of nuclear power plants: PNAE G-10-007-89.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2021 року