

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Теплоенергетичний факультет

Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ / Валерій ТУЗ/
« _____ » _____ 2023 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

за освітньо-професійною програмою Атомні електричні станції

зі спеціальності 143 Атомна енергетика

на тему: Розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС

Виконав: студент _____ 6 _____ курсу, групи ТЯ-11мн

Гаврильчик Дмитро Вікторович

(прізвище ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник к.т.н., ст. викладач, Бібік Т.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Консультанти:

з питань розроблення

стартап-проекту

(назва розділу)

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

з питань охорони праці

(назва розділу)

к.т.н., доц. Кашианов С.Ф.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

_____ (підпис)

Київ – 2023 року

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на тему :

“Розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС”

ТЯ11мн.170.0004.224.МД

Виконав
студент VI курсу
групи ТЯ-01мн
Гаврильчик Дмитро

Київ – 2023 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Теплоенергетичний факультет
Кафедра атомних електричних станцій і інженерної теплофізики

Реферативна доповідь

до магістерської дисертації

на тему:

“ Розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС ”

ТЯ11мн.170.0004.224.мд

Виконав
студент VI курсу, групи ТЯ-11мн
Гаврильчик Д.В.
Керівник
Бібік Т.В. *к.т.н. ст. викладач*

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра атомної енергетики

Рівень вищої освіти другий(магістерський)
Спеціальність 143 Атомна енергетика
Освітньо-наукова програма Атомні електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Валерій ТУЗ

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Гаврильчику Дмитру Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розрахунок на сейсмостійкість системи

пускового повітря РДЕС

науковий керівник дисертації Бібік Т.В. к.т.н.доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 2023 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації "05" травня 2023 р.

3. Об'єкт дослідження вплив сейсмічної активності на несучу конструкцію та балони РДЕС;

4. Предмет дослідження оцінка сейсмостійкості даної системи та визначення найбільш раціональних заходів для підвищення її сейсмостійкості;

5. Перелік завдань, які потрібно розробити а) Розробити основну частину:

1) Огляд нормативно-правових актів та законів України з безпеки експлуатації, та сейсмостійкості АЕС;

2) Огляд та аналіз технологічних систем пускового повітря РДЕС;

3) Провести розрахунки для визначення сейсмостійкості системи пуског МНУ;

4) Виконати аналіз виконаних розрахунків;

б) Виконати огляд охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

1) Креслення Схема загальна Системи пускового повітря. – 1 аркуш А1.;

2) Креслення Схема принципова системи стисненого повітря. Вид за – 1 аркуш А1.

3) Графічне представлення спец. питання – 6 аркушів А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з питань охорони праці	к.т.н., доц. Кашианов С.Ф.		

9. Дата видачі завдання "13 " березня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Оформити та здати на підпис листи завдання МД	До 17.03.2023	
2	Підписати дисертацію у керівника	05.05.2023	
3	Подати МД в електронному вигляді для оприлюднення на сайті кафедри	Одразу після підписання МД у керівника (до кінця квітня)	
4	Оформити та здати: - рецензію на МД - відгук керівника	До 05.05.2023	
5	Нормоконтроль	08.05.2023	
6	Попередній захист	15.05-19.05.2023	
7	Захист МД	22.05-28.05.2023	

Студент

(підпис)

Дитро ГАВРИЛЬЧИК

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Тимофій БІБІК

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ДР: 91с., 14 рис., 17 табл., 38 джерела.

Об'єктом дослідження – вплив сейсмічної активності на несучу конструкцію та балони РДЕС.

Предмет дослідження – оцінка сейсмостійкості даної системи та визначення найбільш раціональних заходів для підвищення її сейсмостійкості.

Метою роботи – є оцінка сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС та визначення найбільш раціональних заходів підвищення її сейсмостійкості.

Метод дослідження – базується на математичному моделюванні та чисельних розрахунках з використанням програмного забезпечення ANSYS та MATLAB.

ABSTRACT

DR: 91 p.,14 figs, 17 tables, 38 sources.

The object of the research is the impact of seismic activity on the supporting structure and cylinders of the RDES.

The subject of the study is to assess the seismic resistance of this system and determine the most rational measures to improve its seismic resistance.

The aim of the study is to assess the seismic resistance of the starting air system of a RGDPP and determine the most rational measures to improve its seismic resistance.

Research method - based on mathematical modelling and numerical calculations using ANSYS and MATLAB software.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕЬ і ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1 СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ.....	11
1.1 Опис сейсмостійкості.....	11
1.2 Сутність сейсмостійкості.....	13
1.2.1 Основні відомості.....	17
1.2.2 Характеристики.....	20
2 ОБГРУНТУВАННЯ БЕЗПЕКИ ПРОЕКТУ.....	24
2.1 Відповідність нормативним документам.....	24
2.2 Методологія Gіp-BBER.....	27
2.3 Захист від помилок персоналу.....	29
3 СИСТЕМА ПУСКОВОГО ПОВІТРЯ РДЕС.....	31
3.1 Опис системи пускового повітря РДЕС.....	31
3.1.1 Система палива.....	33
3.1.2 Система масла.....	33
3.1.3 Система охолодження дизель-генератора.....	34
3.1.4 Система пускового повітря.....	35
3.1.5 Системи опалення та вентиляції.....	36
3.1.6 Електропостачання власних потреб РДЕС.....	36
3.1.7 Автоматична пожежна сигналізація.....	37
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ПУСКОВОГО ПОВІТРЯ РДЕС.....	38
4.1. Поняття та принципи проведення розрахунків.....	38
4.2 Методи підвищення кваліфікації обладнання системи пускового повітря РДЕС...39	39
4.2.1 Варіант підвищення кваліфікації методу розрахункового аналізу.....	39

4.3 Розрахунки та їх результат.....	50
4.3.1 Групування обладнання РДЕС.....	51
4.4 Підвищення кваліфікації балонів пускового повітря (група Т-1).....	54
4.5 Матеріали та допустима напруга.....	58
4.6 Сейсмічний вплив	59
4.7 Оцінка сейсмостійкості.....	60
4.8 Висновки що до розрахунків.....	74
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	76
5.1 Технічні рішення та організаційні заходи необхідні для забезпечення радіаційної безпеки на АЕС.....	77
5.1.2 Біологічний захист.....	81
5.2 Електробезпека на АЕС.....	82
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	83
5.3.1 Обов'язки та дії персоналу АЕС у разі виникнення НС.....	84
5.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу при НС.....	85
5.3.3 Пожежна безпека на АЕС.....	87
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
ДОДАТОК А.....	94
ДОДАТОК Б.....	104

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕЬ І ТЕРМІНІВ

АЕС – Атомна електростанція;

СБ – Система безпеки;

ТВЗ – Тепло виділяючі збірки;

ТВЕЛ – Тепловиділяючий елемент;

ТО – Теплообмінник;

ЯУ – Ядерна установка;

ДІЯРУ - Державна інспекція ядерного регулювання України

КЗ - Компенсуючі заходи

НД - Нормативні документи

ПТК - Програмно технічний комплекс аварійного та попереджувального захисту

СУОП - Система управління охорони праці

НРБУ - Норми радіаційної безпеки

СП-АС - Санітарні правила атомних станцій

КТ - Компенсатор тиску

БЩУ - Блочний щит управління

ТВЕЛ - Тепло виділяючий елемент

РКОС - Радіаційного контролю оточуючого середовища

НС - Надзвичайна ситуація

ДСНС - Державна служба надзвичайних ситуацій

НАПБ - Нормативний акт з пожежної безпеки

ДБН - Державні будівельні норми

ПБ - Пожежна безпека

ППБ - Правила пожежної безпеки

РДЕС - Резервна дизельелнетро станція

ВСТУП

Сейсмостійкість — критичний фактор у проектуванні будівель, особливо в районах, схильних до землетрусів. Здатність конструкції протистояти силам, створюваним сейсмічною активністю, визначається різними факторами, включаючи тип ґрунту, на якому споруджено будівлю. М'які ґрунти, такі як ті, що знаходяться в прибережних районах, більш сприйнятливі до розрідження під час землетрусу, що може призвести до серйозних структурних пошкоджень. З іншого боку, тверді ґрунти, такі як скелі, забезпечують кращий опір сейсмічній активності.

Якість будівельних матеріалів і техніки також є вирішальним фактором у визначенні сейсмостійкості. Сучасні будівельні матеріали, такі як залізобетон і сталь, забезпечують кращу стійкість до сейсмічної активності, ніж традиційні матеріали, такі як цегла та розчин. Використання передових технологій, таких як ізоляція основи та демпфування, також може підвищити сейсмостійкість.

Ізоляція основи передбачає використання гнучких опор між будівлею та її фундаментом, які дозволяють будівлі рухатися незалежно від землі під час землетрусу. Це допомагає мінімізувати зусилля, яким зазнає будівля, тим самим зменшуючи ймовірність пошкодження. Демпфування, з іншого боку, передбачає використання пристроїв, які поглинають і розсіюють енергію, що утворюється в результаті сейсмічної активності, тим самим зменшуючи сили, що діють на будівлю.

Комплекс технічних і організаційних заходів, що забезпечують запобігання пошкодження будівель і споруд ґрунтуються на використанні сучасних підходів до вирішення складних завдань. Існують будівельні норми та стандарти, які гарантують, що конструкції проектуються та будують щоб витримувати сейсмічні навантаження.

Актуальність теми обумовлена необхідністю оцінки ефективного рівня сейсмостійкості.

Метою даної роботи є оцінка сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС та визначення найбільш раціональних заходів підвищення її сейсмостійкості.

Метод дослідження – оцінка сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС та дослідження методів підвищення кваліфікації на сейсмічні впливи.

Об’єктом дослідження – сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС (Резервна Дизельна-Електростанція) на АЕС.

Предметом дослідження – визначення найбільш раціональних заходів для підвищення сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що Основною науковою новизною дослідження є розробка та застосування нових методів та підходів до оцінки сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС. Використання комплексу програмних засобів та математичних моделей дозволило провести аналіз впливу сейсмічних навантажень на роботу системи пускового повітря РДЕС, визначити основні фактори, що впливають на її сейсмостійкість, та запропонувати ефективні заходи для її підвищення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості підвищення сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС та забезпеченні її безперебійної роботи в умовах сейсмічної активності.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 6-ти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основна частина дисертації викладена на 91 сторінках. Ілюстрацій (__14__), таблиць (__17__), додатків (__2__), список використаної літератури (38 джерела). У додатках містяться технічне завдання на науково-дослідну роботу і довідка про впровадження.

1 СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ

1.1. Опис сейсмостійкості

Землетруси — раптові геологічне явище, яке відбуваються періодично, але жоден з аспектів не можна передбачити: ні місце виникнення, ні магнітуду, ні час. Вони завжди раптові та несподівані. Тому ті, хто живе в зонах високого сейсмічного ризику, повинні бути знати, що робити у разі землетрусу. Розділ геофізики, який вивчає землетруси називається сейсмологією. Вимірюються за сейсмологічною шкалою Ріхтера.

Сейсмостійкість — це назва набору будівельних стандартів і вимог, яким має відповідати будівля, щоб витримати землетрус. Сейсмостійкість особливо необхідна в районах з високою сейсмічною активністю. Сейсмостійкість охоплює набір аспектів, пов'язаних з проектуванням і будівництвом будівель, насамперед ті, що стосуються структурної конфігурації (розміри, матеріали, міцність тощо). Метою сейсмостійкості є запобігання повного або часткового руйнування будівлі під час землетрусу.

Сейсмічні поштовхи викликають багато небезпечних явищ: зсуви і лавини в горах, хвилі паводків (цунамі) на берегах морів і океанів, тріщини і розрідження на поверхні суші. Однак найбільш руйнівний вплив мають самі сейсмічні поштовхи, які можуть бути посилені шляхом поширення в конкретних ґрунтових умовах. Найсильніший головний поштовх зазвичай супроводжується серією наступних поштовхів меншої або подібної інтенсивності до початкового поштовху. Ці поштовхи передаються від землі до будівельних конструкцій через фундаменти, створюючи динамічні навантаження у вигляді сил інерції. Часто в зоні землетрусів одні будівлі не руйнуються, а інші з іншими динамічними характеристиками повністю руйнуються, незважаючи на те, що побудовані за схожою технологією. Будівлі пошкоджуються або повністю руйнуються, коли діючі на них сили інерції викликають в елементах конструкцій напруги, що перевищують їх міцність. Люди тисячоліттями борються із землетрусами, розробляючи різні будівельні техніки, більш-менш стійкі до дії

руйнівних динамічних сил. Найпоширенішими в сейсмічних районах, особливо в бідних країнах, є споруди з доступних на місці матеріалів, особливо каменів і цегли, які були випечені або висушені на сонці. Ці матеріали, найчастіше в поєднанні з глиняними, вапняними або цементними розчинами (зараз), створюють кладочні конструкції з жорсткими та крихкими робочими характеристиками, які стійкі до статичних вертикальних сил. Однак вони чутливі до горизонтальних сил інерції. Навіть невеликі горизонтальні зміщення, викликані підземним поштовхом, спричиняють тріщини в таких конструкціях або їх обвалення. Конструкція, ослаблена першим сейсмічним поштовхом, часто не в змозі протистояти повторним поштовхам, які виникають через кілька годин або днів, і повністю руйнується, якщо її не захистити належним чином.

Певною модифікацією класичних кам'яних конструкцій є стіни, укріплені дерев'яними елементами. Вони збільшують здатність крихкої кладки протистояти великим деформаціям (пластична поведінка), розсіюючи енергію удару та зберігаючи цілісність конструкції. Подібна технологія зведення будівель, напрацьована століттями в сейсмічних районах, на практиці довела свою ефективність. Цегляні конструкції з підвищеною пластичністю і гнучкістю безпечніші, ніж жорсткі з характеристиками крихкості.

Перші перетворюють енергію ударів у великі переміщення при відносно невеликому зусиллі елементів конструкції, що не перевищує міцності. Останні навіть при невеликих зміщеннях, викликаних ударом, руйнуються в результаті надмірних зусиль по відношенню до міцності будівлі.

Проектування та будівництво сейсмостійких будівель вимагають міждисциплінарного підходу, співпраці та використання різних методів і технологій. У конструктивних системах сейсмостійких будівель зазвичай використовують залізобетонні або сталеві каркаси. Архітектори та інженери в усьому світі постійно впроваджують інноваційні методи проектування та будівництва, щоб підвищити безпеку та стійкість будівель. Використання сейсмічних кодів і стандартів має важливе

значення для забезпечення того, що будівлі спроектовані таким чином, щоб витримувати землетруси, а моніторинг і технічне обслуговування сейсмостійких будівель має вирішальне значення для забезпечення їх постійної безпеки та ефективності.

Пластичність, або здатність матеріалу деформуватися без руйнування, є важливою характеристикою для матеріалів, що використовуються в сейсмостійкій конструкції будівель, і проектування маси конструкції, жорсткості, системи фундаменту та поведінки матеріалів є важливими факторами, які слід враховувати у разі будівництва. Різні стратегії, такі як бічні системи опору силі, ізоляція основи та пристрої розсіювання енергії, можуть бути використані в сейсмостійкій конструкції будівлі. Наприклад, зсувні стіни та каркаси є прикладами методів, які передають бічні сили на фундамент. При проектуванні сейсмостійких будівель інженери працюють над зміцненням конструкції та протидією потенційним силам землетрусів. Важливо також відзначити, що перед впровадженням сейсмостійких проектів у регіоні слід враховувати місцеві методи будівництва та наявність ресурсів.

Загалом, проектування та будівництво сейсмостійких будівель має вирішальне значення для безпеки, спрямоване на мінімізацію людських втрат шляхом запобігання руйнуванню будівель під час рідкісних землетрусів, одночасно обмежуючи втрату функціональності під час більш частих.

1.2 Сутність сейсмостійкості

Одним із перших науковців, який пояснював сейсмостійкість був Арістотель. Він припустив, що у землетрусах винні вітри, які шукають спосіб вийти із печер у земних надрах. У 132 році китайський науковець Чжан Хен теж досліджував землетрус і вважав, що він може виникнути на відстані 400-500 км.

Джон Мічелл припускав, що земетруси — пружні хвилі, які викликані процесом проходження через кору землі. У 1760 році він видав свою книгу, «Припущення про

причини виникнення землетрусів і спостереження за цим феноменом». У ній він дав визначення самому поняттю землетрусів та оцінив швидкість сейсмічних хвиль в 1930 км/год. На його думку розташування центру поштовху (епіцентру) можна визначити, зіставляючи показники про час прибуття коливань. Саме його дослідження стали основою для наступних досліджень науковців кількох століть.

У XIX столітті відбувся новий стрибок у вивченні сейсмології. Завдяки Роберту Маллету було опубліковано каталог сейсмічності. До його складу увійшли 6831 землетрусів, дані про які зібрав науковець протягом 20 років. Сейсмолог і дослідник Еміль Вихерт припустив, що хвилі (повздовжні та поперечні) мають глибинне походження. А його колега Діксон Олдхем вважав, що можна припустити існування у планети внутрішнього ядра.

Археосейсмологія, археологічне дослідження землетрусів, є надзвичайно корисною для вчених, які оцінюють сейсмічні небезпеки. Це скарбниця інформації про стародавні суспільства. Сприйняття землетрусів, ризик, який суспільство може і буде терпіти, довголіття та засоби їхньої соціальної пам'яті, досвід будівельників у будівництві будівель, які можуть протистояти коливанню землі, і передача технологій, пов'язана з цією діяльністю, є актуальними. питання для історичних і суспільних наук.

Сейсмічність минулого була детально вивчена на обох кінцях Шовкового шляху. Японські історичні каталоги землетрусів були розглянуті Ishibashi (2004). У Китаї доступні численні каталоги (Academia Sinica 1956 ; Li 1960 ; щодо сучасного трактування філологічної глибини див. Walter 2016). У середземноморському регіоні є два останніх каталоги (Ambraseys 2009 ; Guidoboni and Comastri 2005). Між ними знаходиться область, охоплена каталогом Амбразея і Мелвілла (1982) про перські землетруси та історичним каталогом Кондорської і Шебаліна (1982). землетрусів у колишньому Радянському Союзі. Останній охоплює значну частину середньоазіатського сектора Шовкового шляху.

Сейсмостійкість визначається якісним виконанням у проекті і в наборі комплексу об'ємнопланувальних і конструктивних заходів згідно з вимогами діючих ДБН.

Ці норми та стандарти визначають мінімальні вимоги до сейсмостійкості, яким повинні відповідати всі будівлі в сейсмічних зонах. Вони охоплюють різні аспекти проектування та будівництва будівель, включаючи тип і якість використовуваних матеріалів, конструкцію конструкції та методи будівництва.

Ступені пошкоджень 0, 1, 2, 3, 4 і 5 класифікують деформації конструкцій при землетрусах залежно від типу будівлі (кам'яна, залізобетонна, сталева, дерев'яна тощо). Ступінь 0 відповідає відсутності пошкоджень; ступінь 1 відповідає легким пошкодженням; ступінь 5 – руйнуванню/обваленню.

Більшість – відповідає, як правило, діапазону 56-100 % (медіальне значення 75 %); Багато – відповідає, як правило, діапазону 16-55 % (медіальне значення 40 %); Деякі – відповідають, як правило, діапазону 0-15 % (медіальне значення 10 %).

Сейсмічна вразливість різних типів конструкцій згруповані в 6 основних категорій, в тому числі в порядку зменшення вразливості та позначено А, В, С, D, E, F відповідно. А і F, що відповідають найвищому та найнижчому рівням вразливості, можуть бути розділені на 2 підкатегорії, позначені як А1, А2, F1, F2 відповідно. Вразливість деяких конструктивних типів будівель наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Орієнтовна оцінка вразливості деяких конструктивних типів будівель

№ з/п	Тип будівлі/споруди	Поверховість	Імовірний клас вразливості							
			A1	A2	B	C	D	E	F1	F2
	Будівлі з несучими стінами									
1	Бутовий камінь, глина, вапняк, черепашник тощо	1								
2	Пиляний камінь	1								

№ з/п	Тип будівлі/споруди	Поверховість	Імовірний клас вразливості							
			A1	A2	B	C	D	E	F1	F2
	прямокутної форми									
3	Дрібні бетонні камені	2-3								
4	Повнотіла цегла і суцільні бетонні камені	3-4								
5	Багатошарові стіни із внутрішнім шаром із залізобетону	5								
6	З монолітного залізобетону	До 24								
7	Будівлі зі спеціальними сейсмоізоляційними сейсмосистемами сейсмоізоляціями та системами гасіння коливань	-								

Первинне джерело для визначення сейсмічної інтенсивності — інженерна частина шкали, яка містить макросейсмічні дані про пошкодження будівель і споруд, а також вплив землетрусів на інші об'єкти (макросейсмічна оцінка).

Таблиця 1.2 Ступені пошкоджень будівель

Ступінь пошкодження	Класифікація пошкоджень	
	Несучі конструкції та елементи	Ненесучі конструкції та елементи
0	Пошкодження відсутні	Пошкодження відсутні
1	Пошкодження відсутні	Легкі пошкодження, якими нехтують
2	Легкі пошкодження, що знижують несучу здатність будівлі	Помірні
3	Помірні пошкодження, що помітно зменшують несучу здатність будівлі	Важкі пошкодження; виникає вірогідність спричинення збитку

Ступінь пошкодження	Класифікація пошкоджень	
	Несучі конструкції та елементи	Ненесучі конструкції та елементи
		життю і/або здоров'ю людей
4	Важкі пошкодження, стан будівлі близький до надграничного; несуча здатність вичерпана; часткові обвалення. Висока вірогідність поранень і загибелі людей	Дуже важкі пошкодження. Відмова, вихід з ладу
5	Руйнування будівель	Руйнування будівель

На додаток до дотримання будівельних норм і стандартів, існують інші заходи, які можна вжити для підвищення сейсмостійкості. До них належать регулярні інспекції та технічне обслуговування будівель, розробка планів на випадок надзвичайних ситуацій та встановлення сейсмічних систем, модернізації. Сейсмічна модернізація передбачає модифікацію існуючих будівель, щоб підвищити їх здатність протистояти сейсмічній активності.

1.2.1 Основні відомості

Сейсмостійкість - це спосіб проектування та будівництва будівель, щоб бути більш стійкими до руйнівних наслідків землетрусу. Це досягається шляхом використання залізобетону, сталі та інших матеріалів, які будуть протистояти трясці та вібрації, викликаній землетрусом. Інженери-конструктори використовують складне комп'ютерне програмне забезпечення, щоб допомогти визначити найкращий спосіб проектування будівель, щоб витримати силу поштовхів.

В Україні до сейсмічно небезпечних районів віднесені Карпати і Крим. Сейсмічна зона Криму займає південну частину півострова. Тут відомі землетруси силою до 8 балів. За причинами, що їх викликають, землетруси поділяються на тектонічні, вулканічні і денудаційні. Тектонічні землетруси пов'язані з розрядкою напруг, що періодично накопичуються в земній корі і верхній мантії внаслідок рухів

блоків та глиб, що зачіпають різні глибини земної кори і верхню мантію. На них припадає 95 % всіх землетрусів. Вулканічні землетруси передують виверженням вулканів або супроводжують їх. Вони мають локальне розповсюдження: обмежуються областю, прилеглою до діючого вулкана. Денудаційні (або обвальні) землетруси відбуваються в районах розповсюдження легкорозчинних гіпсових, сольових і карбонатних порід, де виникають значних розмірів карстові порожнини і печери. Підземний обвал віддає по поверхні сейсмічним поштовхом. На частку денудаційних припадає близько 1 % всіх відомих землетрусів. Один з найбільш сильних денудаційних землетрусів спостерігався в Харківській області в 1915 р. Коливання ґрунту, викликані проходженням поверхневих хвиль, фіксуються за допомогою приладів – сейсмографів і записуються у вигляді сейсмограм. Сейсмограми – основний документ, що характеризує землетрус. На них відбиті амплітуди подовжніх, поперечних і поверхневих хвиль. Основні показники сили землетрусу – його енергія та інтенсивність. Енергія, що виділяється при розрядці напруг у сейсмічному осередку, вимірюється у джоулях або магнітудах. Магнітуда M – умовна енергетична характеристика, що виражається логарифмом відношення амплітуди коливань землетрусу, який вивчається, A_T до амплітуди коливань стандартного землетрусу A : $M = \lg (A_T / A)$.

Як еталонний, або стандартний землетрус, прийнято землетрус з амплітудою 1 мкм, який можна зареєструвати на відстані 100 км сейсмографом стандартного типу. Шкала, запропонована Ч. Ріхтером, налічує 9 магнітуд. Між енергією і магнітудами існує залежність.

Сейсмостійкі будівлі розроблені таким чином, щоб витримувати сейсмічні наслідки землетрусів. Такі будівлі розроблені таким чином, щоб зменшити вплив коливань ґрунту на конструкцію та, у свою чергу, зменшити ймовірність структурних пошкоджень і травм. Характеристики сейсмостійких будівель включають міцні фундаменти, міцні стіни, гнучкі каркаси та амортизатори. Сейсмостійкість залежить від багатьох факторів, включаючи геологічні умови місцевості, потужність і

тривалість землетрусу, конструктивні характеристики будівлі і якість будівельних матеріалів. Існує безліч методів і технологій, які використовуються для підвищення сейсмостійкості споруд та інфраструктури. Деякі з них включають в себе:

1. Використання сейсмостійких матеріалів, таких як армований бетон, сталь, дерево та інші матеріали з високою міцністю.
2. Застосування спеціальних конструктивних методів, таких як гнбкі деформації, механізми газових коливань, зміщення та ін.
3. Підсилення та модернізація існуючих приміщень за для підвищення сейсмостійкості.

Будівництво будівель на спеціальних фундаментах, які дозволяють будівлі підніматися і опускатися під час землетрусу. Встановлення спеціальних сейсмічних датчиків і систем автоматичного управління, які можуть упередити про можливий землетрус і прийняти відповідні заходи безпеки. Чисельні дослідження та фізичні експерименти показали, що існують різні методи розрахунку сейсмостійкості, які використовують при проектуванні будівель.

Існують різні методи розрахунку сейсмостійкості при проектуванні будівель. Найпоширеніші:

- спекторальний метод;
- прямий динамічний метод із застосуванням записів прискорень ґрунту;
- нелінійний статистичний розрахунок;
- лінійно-спектральний метод.

Сьогодні ефективні інструменти моделювання кінцевих елементів дозволяють проводити динамічні розрахунки, які можуть точно передбачити поведінку підпірних стін під впливом різних сейсмічних навантажень, включаючи внутрішні сили, деформації, підвищення тиску води та прогнозовані моделі руйнувань.

При розрахунку будівель і споруд (крім транспортних і гідротехнічних робіт) для спеціальних комбінацій навантажень з урахуванням сейсмічних впливів коефіцієнти сумісності наводяться згідно з таблицею 1.3.

Таблиця 1.3 Значення коефіцієнтів сполучень

Навантаження	Коефіцієнт
Постійні для залізобетонних, кам'яних, дерев'яних конструкцій	0,9
Для металевих конструкцій	0,95
Тимчасові, тривалі	0,8
Короткотривалі (перекриття/покриття)	0,5

Україна має високу сейсмічну активність через перебування в зоні сейсмічної нестійкості. Отже, сейсмостійкість будівель є дуже важливим фактором у країні. Було впроваджено будівельні норми, щоб гарантувати, що всі споруди, як житлові, так і комерційні, спроектовані та побудовані таким чином, щоб витримувати сейсмічні навантаження. Інженери повинні враховувати сейсмічні характеристики України, які включають частоту та магнітуду.

Склад вихідних даних для виконання розрахунків на сейсмостійкість включає:

- проектну документацію: проектні та монтажні креслення, розрахунки;
- визначення параметрів та навантажень, що відповідають робочому режиму (режим нормальної експлуатації), який передбачається спільним із настанням землетрусу;
- поверхові спектри відповіді.

1.2.2 Характеристики

Сейсмічні характеристики бувають:

- Спеціальні - безпосередня реєстрація на місці з небезпечних зон можливих сейсмічних джерел;
- Синтетичні – розроблений на основі повного набору наявних сейсмологічних і геолого-геофізичних даних, які характеризують сейсмічні джерела,

які є небезпечними для об'єкта, враховуючи вплив навколишнього середовища на шляхи поширення вібрації, характерні для сейсмічних джерел і об'єктів.

– Властивості фільтрації (резонансу) нижнього геологічного середовища.

Для визначення параметрів і характеристик сейсмічного ефекту використовуються методи, які враховують сучасну світову практику. Застосування кожного методу підходить для кожної конкретної задачі. В результаті роботи отримано найбільш імовірні значення параметрів можливих сейсмічних впливів.

Наприклад, технологічні умови експлуатації будівельних конструкцій АС враховуються в комбінаціях із сейсмічними впливами відповідно до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Сполучення технологічних умов експлуатації будівельних конструкцій АС та сейсмічних впливів при розрахунку будівельних конструкцій АС.

№	Категорія сейсмостійкості	Номер сполучення					
			Технологічні навантаження			Сейсмічні навантаження	
			НЕ	ПНЕ	ПА	ПЗ	МРЗ
1	I	1 ²⁾	+	-	+	-	+
2	I	2	+	-	-	-	+
3	I	3	-	+	-	-	+
4	II	4	+	-	-	+	-
5	II	5	-	+	-	+	-

Знак “ + ” необхідність включення цих впливів у відповідне сполучення.

“ - ” ці впливи не включаються до відповідного сполучення.

При оцінці сейсмостійкості фундаментів будівель і конструкцій досліджують стійкість ґрунту основи при амплітудних значеннях перекидного моменту, а також динамічну стійкість ґрунту основи.

Сейсмічні характеристики - це параметри, що використовуються для опису сейсмічного руху та характеристик землетрусу. Основні сейсмічні характеристики включають:

1. **Магнітуда:** Магнітуда землетрусу - це числова величина, що вказує на енергію, що вивільняється під час землетрусу. Магнітуда вимірюється за шкалою Ріхтера або іншими шкалами, такими як шкала Моменту (Moment magnitude scale).
2. **Глибина:** Глибина землетрусу - це відстань від поверхні землі до місця появи сейсмічного руху. Глибина може бути відносно невеликою (до 70 км), середньою (70-300 км) або великою (понад 300 км).
3. **Епіцентр:** Епіцентр - це точка на поверхні землі, яка знаходиться найближче до місця появи сейсмічного руху. Епіцентр може бути визначений за допомогою сейсмічних датчиків.
4. **Період та частота коливань:** Період та частота коливань - це параметри, що вказують на частоту та тривалість коливань, що виникають під час землетрусу. Ці параметри можуть бути виміряні за допомогою сейсмічних датчиків.
5. **Інтенсивність:** Інтенсивність - це параметр, що вказує на ступінь впливу землетрусу на середовище, людей та будівлі. Інтенсивність може бути визначена за допомогою шкали Меркелівської інтенсивності або інших шкал.
6. **Тривалість:** Тривалість - це параметр, що вказує на час тривалості сейсмічного руху. Цей параметр може впливати на ступінь впливу землетрусу на будівлі та інженерні споруди, оскільки тривалість може впливати на механічні напружки в матеріалах будівель та споруд.

7. Напрямок коливань: Напрямок коливань - це параметр, що вказує на напрямок, в якому відбуваються коливання під час землетрусу. Цей параметр важливий для оцінки можливого впливу землетрусу на споруди та інфраструктуру.
8. Сейсмічна активність: Сейсмічна активність - це параметр, що вказує на кількість та інтенсивність землетрусів, що відбуваються в конкретному регіоні. Цей параметр може бути використаний для розробки заходів зі зменшення ризику від землетрусів в цьому регіоні.

Загалом, сейсмічні характеристики є важливими для визначення потенційного ризику від землетрусів та розробки заходів зі зменшення цього ризику. Вони також використовуються для проектування будівель та інженерних споруд, що повинні бути стійкими до сейсмічних навантажень.

- Глибина епіцентру: Глибина епіцентру - це глибина, на якій виник землетрус. Цей параметр може впливати на інтенсивність землетрусу, а також на можливість виникнення підземних пошкоджень, наприклад, обвалів чи зсувів ґрунту.
- Частота коливань: Частота коливань - це параметр, що вказує на кількість коливань, що відбуваються за одну секунду під час землетрусу. Цей параметр важливий для визначення можливого впливу землетрусу на будівлі та споруди, оскільки він може викликати резонанс у будівлях та спорудах, які мають певні натуральні частоти коливань.
- Розмір тектонічної поруки: Розмір тектонічної поруки - це параметр, що вказує на розмір зони розлому, де відбуваються тектонічні рухи, що можуть викликати землетрус. Цей параметр важливий для визначення потенційної магнітуди землетрусу та його можливого впливу на будівлі та споруди.
- Геологічний склад ґрунту: Геологічний склад ґрунту - це параметр, що вказує на тип та властивості ґрунтів у регіоні. Цей параметр важливий для оцінки

можливого впливу землетрусу на будівлі та споруди, оскільки ґрунт може відігравати роль амортизатора, або ж, навпаки, підсилювати коливання.

Для вивчення сейсмічних характеристик використовують різноманітні методи, такі як сейсмічні спостереження, вивчення геологічної структури регіону та аналіз історичних даних про землетруси. За допомогою цих методів можна отримати інформацію про потенційний ризик землетрусів у певному регіоні та розробити відповідні заходи для зменшення цього ризику.

У країнах, де ризик землетрусів високий, сейсмічні характеристики є важливою складовою системи попередження про надзвичайні ситуації та захисту населення. Такі країни проводять регулярні сейсмічні спостереження, розробляють плани евакуації та готовність до надзвичайних ситуацій, а також створюють спеціальні комісії та організації, що займаються координацією дій під час землетрусів та інших природних катастроф.

2 ОБГРУНТУВАННЯ БЕЗПЕКИ ПРОЕКТУ

2.1 Відповідність нормативним документам

Обґрунтування безпеки проекту є важливою складовою будь-якого інженерного проекту. В процесі розробки проекту розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС, інженери повинні враховувати ризики та виконати ряд дій для забезпечення безпеки проекту.

Один з найважливіших аспектів безпеки при розробці проекту - це розрахунок на сейсмостійкість системи. Розрахунок на сейсмостійкість визначає, наскільки добре система може витримати землетруси. Для забезпечення безпеки проекту, інженери повинні провести ретельний аналіз сейсмічних характеристик регіону та врахувати їх при розрахунках.

Крім розрахунку на сейсмостійкість, інженери повинні виконати ряд інших дій для забезпечення безпеки проекту. Наприклад, вони повинні визначити всі потенційні небезпеки, пов'язані з використанням системи, та розробити заходи для їх запобігання. Також важливо враховувати вплив проекту на навколишнє середовище та здоров'я людей.

Для забезпечення безпеки проекту, інженери повинні дотримуватися відповідних нормативних документів та стандартів. У більшості країн існують нормативні документи, які регулюють процес розробки проектів та вимоги до їх безпеки. Наприклад, в США для розрахунку на сейсмостійкість існує ряд федеральних стандартів та рекомендацій.

Отже, для забезпечення безпеки проекту розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС, інженери повинні провести ретельний аналіз ризиків та

визначити всі потенційні небезпеки, які можуть виникнути під час використання системи. Вони повинні враховувати такі фактори, які можуть вплинути на безпеку проекту, як наприклад місцезнаходження системи, кліматичні умови, енергетичні ризики, технічні неполадки та людський фактор.

Інженери повинні також розробити план дій в разі надзвичайних ситуацій та навчати персонал системи, як діяти в таких ситуаціях. При цьому необхідно враховувати різноманітні варіанти надзвичайних ситуацій, щоб персонал міг відповідно реагувати на будь-які можливі небезпеки.

Окрім цього, інженери повинні забезпечити належне функціонування всіх систем, які входять в систему пускового повітря РДЕС, таких як система живлення, система охолодження, система контролю тощо. Всі ці системи повинні бути відповідним чином протестовані та перевірені перед використанням, щоб запобігти можливим несправностям та відмовам.

Таким чином, обґрунтування безпеки проекту розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС повинно включати ретельний аналіз сейсмічних характеристик регіону, визначення всіх потенційних небезпек та розробку заходів для їх запобігання, використання відповідних нормативних документів та стандартів, розробку плану дій в разі надзвичайних ситуацій та забезпечення належного функціонування всіх систем, які входять в систему пускового повітря РДЕС.

Також важливим етапом обґрунтування безпеки проекту є проведення відповідної сертифікації та перевірки системи з боку незалежних експертів. Це допоможе підтвердити відповідність системи всім нормативним вимогам та стандартам, а також виявити можливі недоліки та вирішити їх до використання системи.

Крім того, обґрунтування безпеки проекту повинно включати проведення відповідних навчань та тренувань для персоналу, який буде відповідати за

експлуатацію та обслуговування системи пускового повітря РДЕС. Це допоможе забезпечити належний рівень професійної підготовки персоналу та зменшити можливі ризики виникнення небезпек при експлуатації системи.

Отже, обґрунтування безпеки проекту розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС є важливим етапом в процесі розробки та експлуатації системи. Воно допоможе забезпечити безпеку персоналу та населення, а також запобігти можливим небезпекам та надзвичайним ситуаціям.

Відповідність нормативним документам - це важливий аспект обґрунтування безпеки проекту. Існує ряд нормативних документів, які регулюють проектування, будівництво та експлуатацію систем пускового повітря РДЕС.

Один з найважливіших нормативних документів у цій галузі - це Правила безпеки в енергетиці (ПБЕ), які визначають вимоги до технічного стану обладнання та процесів в енергетичному секторі. ПБЕ містять положення щодо планування, проектування, будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів енергетики.

Також, важливими нормативними документами є ДСТУ (Державні будівельні норми України), які містять вимоги до будівельних конструкцій та матеріалів, технічні вимоги до будівельних процесів та проектування.

Для систем пускового повітря РДЕС існують також спеціальні нормативні документи, які визначають вимоги до їх проектування та експлуатації.

Дотримання вимог нормативних документів забезпечує високий рівень безпеки під час будівництва та експлуатації системи пускового повітря РДЕС. При обґрунтуванні безпеки проекту необхідно враховувати відповідність всіх вимог нормативних документів, які стосуються даного проекту.

2.2 Методологія GIP-BBER

Методологія GIP-BBER - це комплексний підхід до проектування та будівництва електроенергетичних систем з використанням економічного, технічного та екологічного аналізу.

Застосування методології GIP-BBER у розрахунках на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС включає такі етапи:

1. Аналіз потреб споживачів та визначення енергетичної потужності. У цьому етапі визначається максимальна потужність, яку має надавати система пускового повітря РДЕС для забезпечення роботи РДГ при аварійній ситуації.
2. Вибір обладнання. На цьому етапі визначається оптимальне обладнання для системи пускового повітря РДЕС, яке забезпечує необхідну потужність, ефективність та сейсмостійкість.
3. Розрахунок системи пускового повітря РДЕС з використанням методу кінцевих елементів та структурного аналізу. На цьому етапі проводяться розрахунки на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС з використанням методу кінцевих елементів та структурного аналізу. Визначається ефективність системи та встановлюються заходи для забезпечення безпеки під час сейсмічних подій.
4. Економічний аналіз. На цьому етапі проводяться економічні розрахунки, зокрема, визначаються витрати на будівництво, експлуатацію та обслуговування системи пускового повітря РДЕС.
5. Оцінка впливу на навколишнє середовище. На цьому етапі проводиться оцінка впливу системи пускового повітря РДЕС на навколишнє середовище та природні ресурси.

Методологія GIP-BBER детально описує кроки, які потрібно зробити для виконання експертизи будівельної конструкції. Зокрема, вона включає наступні етапи:

1. Аналіз конструкції та збір інформації: у цьому етапі проводиться детальний аналіз конструкції, включаючи її розміри, матеріали, технічні характеристики, технологічні особливості будівництва тощо. Також збирається інформація про умови експлуатації та навколишнє середовище.
2. Оцінка стану конструкції: у цьому етапі проводиться оцінка технічного стану конструкції з урахуванням її вікових та експлуатаційних характеристик. Для цього можуть використовуватися різні методи оцінки, зокрема, візуальний огляд, неруйнівний контроль, вимірювання параметрів тощо.
3. Розрахунок на міцність: на цьому етапі виконуються розрахунки, що включають в себе визначення міцності та деформаційної поведінки конструкції за допомогою різних методів, таких як аналітичні розрахунки, чисельне моделювання та експериментальні дослідження.
4. Оцінка безпеки: на останньому етапі виконується оцінка безпеки конструкції з урахуванням її міцності та деформаційної поведінки в умовах, які можуть викликати її пошкодження або руйнування.

У загальному, методологія GIP-BBER є комплексним підходом до проектування інженерних систем, який включає аналіз ризиків, визначення основних технічних параметрів, розрахунок та моделювання, екологічні оцінки, а також інші етапи. При застосуванні до нашої теми дослідження - розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС, методологія може допомогти врахувати вплив різних факторів на систему і виявити потенційні проблеми вже на етапі проектування. Такий підхід може значно знизити ризики аварій та збільшити безпеку експлуатації системи в цілому.

2.3 Захист від помилок персоналу

Захист від помилок персоналу є дуже важливим аспектом в нашому дослідженні з розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС. Деякі можливі заходи, які можна вжити, щоб забезпечити захист від помилок персоналу, включають:

1. Навчання персоналу: Кращий спосіб забезпечити захист від помилок персоналу - це забезпечити, щоб персонал мав належну кваліфікацію та навички, які необхідні для виконання робіт, пов'язаних з дослідженням. Організація тренінгів, підготовка інструкцій з експлуатації та посібників з можливих помилок можуть допомогти покращити знання персоналу та зменшити ризик помилок.
2. Автоматизація процесу: Використання автоматизованих систем та інструментів може допомогти зменшити ризик помилок, пов'язаних з ручним введенням даних та інтерпретацією результатів розрахунків.
3. Перевірки та контроль: Перевірка результатів розрахунків, їх оцінка та порівняння з іншими методами та результатами - це важливий етап в дослідженні. Крім того, системи контролю та моніторингу можуть допомогти виявляти неправильності у процесі дослідження та забезпечувати належний рівень якості даних.
4. Реалізація стандартів: Використання стандартів та нормативних документів може допомогти забезпечити належний рівень безпеки та точності дослідження. Вони надають вказівки та протоколи для розрахунків та експлуатації системи.

Додаткові заходи, які можна використовувати для запобігання помилок персоналу, включають:

2. Розробка чітких інструкцій. Важливо мати чіткі та детальні інструкції для кожного етапу дослідження, щоб персонал точно знали, які кроки потрібно виконувати та як правильно взаємодіяти з обладнанням.
3. Перевірка обладнання. Перед початком дослідження необхідно перевірити, що обладнання працює належним чином та не має пошкоджень або дефектів. Це допоможе запобігти непередбачуваним ситуаціям під час експериментів.
4. Систематичні перевірки. Під час виконання дослідження необхідно систематично перевіряти техніку безпеки та обладнання, щоб виявити можливі проблеми та недоліки.
5. Регулярне навчання та тренування. Для забезпечення постійного підвищення кваліфікації персоналу та зменшення ризику помилок варто проводити регулярні навчання та тренування. Це допоможе переконатися, що всі члени команди розуміють необхідні заходи безпеки та знають, як правильно виконувати свої обов'язки.
6. Встановлення системи контролю. Необхідно встановити систему контролю за виконанням інструкцій та процедур дослідження, щоб переконатися, що всі члени команди виконують свої обов'язки належним чином та не порушують правил безпеки.

3 СИСТЕМА ПУСКОВОГО ПОВІТРЯ РДЕС

3.1 Опис системи пускового повітря РДЕС

Система пускового повітря РДЕС складається із наступних систем:

- 1) система палива;
- 2) система масла
- 3) система охолодження дизель-генератора;
- 4) система пускового повітря;
- 5) система опалення та вентиляції;
- 6) система електрозабезпечення;

Система пускового повітря РДЕС - це складна інженерна система, яка має велику кількість характеристик та вимог до своєї роботи. Дана система пускового повітря призначена для запуску дизель-генератора стиснутим повітрям вручну (безпосередньо біля дизеля), дистанційно та автоматично. Після запуску дизель-генератора робота системи не потребується. В режимі «очікування» система знаходиться в стані готовності на випадок виникнення початкової ситуації, яка потребує роботи даної системи. Отже балони пускового повітря резервної дизельної електростанції (РДЕС) потрібні для забезпечення надійного запуску дизель-генератора протягом встановленого часу (15 с) для цього одним із чинників які є необхідними для запуску дизель генератора у вказаний час є забезпечення необхідного тиску в системі пускового повітря в необхідному значенні. Відмовою системи є непоступання повітря в циліндри дизеля.

Резервна дизель-електростанція (РДЕС) систем безпеки відповідно до [23] є забезпечуючою системою безпеки, яка виконує функції джерела живлення систем

безпеки АЕС електроенергією, система відноситься до класу 30 [23], та групі С по [24] та має категорію сейсмостійкості 1 по [25].

РДЕС має наступні основні характеристики - робочий тиск трубопроводів пускового повітря становить 45 кгс/см^2 (4,5 МПа), робоча температура 40°C (313 К). Кожний відділ РДЕС обладнаний автономною системою палива, масла, охолоджуючої води, пускового повітря, електроживлення, вентиляції, це основні автономні системи РДЕС.

Заповнення та підживлення балонів пускового повітря відбувається від ресиверів системи живлення пневматичної арматури енергоблоку. Запасу повітря в балонах достатньо для чотирьох послідовних запусків дизельного генератора. Зовнішнє повітря до турбокомпресору дизель-генератора надходить ззовні будівлі РДЕС через лабіринту камеру та фільтр повітрязаборника. Температура повітря в лабіринтній камері в режимі «очікування» підтримується на позначці 25°C (298 К).

Балони пускового повітря відносяться до першої категорії сейсмостійкості. Кожний балон зазвичай являє собою однотипну конструкцію, виготовлену на одному і тому ж заводі та встановлені на одній висотній відмітці. Єдиною відмінністю є навантаження на патрубки від приєднаних трубопроводів системи пускового повітря.

Сейсмостійкість даної системи зумовлена серед іншого сейсмостійкістю несучої конструкції. Через це необхідно звертати увагу також на сейсмостійкість несучої конструкції, на якій встановлене дане обладнання.

РДЕС кожного блоку АЕС складається із трьох повністю ізольованих один від одного каналів, розташованих в окремих осередках будівлі РДЕС.

Компонування обладнання кімнат різні, у зв'язку з установкою в кімнаті номер один горизонтальних насосів техводопостачання споживачів групи «А», а у крайніх кімнатах - вертикальних.

У кожній комірці РДЕС, обладнаної автономними системами палива, масла, охолоджуючої води, електропостачання, вентиляції, пускового повітря тощо, встановлено по одному дизель-генератору з допоміжним обладнанням.

3.1.1 Система палива

Система постачання дизель-генератора паливом включає в себе витратний бак, він розміщений в окремому приміщенні, підземний резервуар дводобового запасу, який розташований поряд з будівлею РДЕС, і два паливопідкачувальні насоси, встановлених для комірки 1 у технологічному підвалі РДЕС, а для комірок 2 і 3 - у заглибленій насосній поряд з резервуаром (один насос резервний), фільтри грубої та тонкої очистки.

Підживлення підземних резервуарів у режимі нормальної експлуатації відбувається насосами, які встановлені на складі ПММ АЕС. При знеструмленні АЕС їх підживлення проводиться за рахунок автоцистерн.

3.1.2 Система масла

Доставка масла на РДЕС передбачається автоцистернами, з яких воно через масляну машину надходить у видатковий бак $V = 10\text{м}^3$. Підживлення циркуляційних маслбаків дизелів кмірок 2 та 3 виробляється автоматично з витратного бака через вентилі з електроприводом. Підживлення циркуляційного бака комірки здійснюється з розташованого в технологічному підвалі баку запасу масла двома маслоподкачиваючими насосами.

Запасу масла в циркуляційному та видатковому баках достатньо для безперервної роботи дизель-генератора протягом 30 діб.

3.1.3 Система охолодження дизель-генератора

Система охолодження дизель-генератора складається із зовнішнього та внутрішнього контуру.

Охолодження зовнішнього контуру дизель-генератора та допоміжного обладнання (блок масляної системи, охолоджувачі повітря рециркуляційних вентсистем) здійснюється з водоприймальної камери насосами відповідальних споживачів групи “А”. На підводі технічної води до споживачів дизель-генератора встановлені 2 регулюючих клапани з пневмоприводом (кожен на 100% витрати), що відкриваються автоматично із пуском дизеля.

Подача охолоджувальної води до обладнання та механізмів РДЕС забезпечується від насосів системи технічного водопостачання споживачів реакторного відділення, розміщених у 3-х комірках РДЕС. У першій комірці встановлені 2 горизонтальні відцентрові насоси типу Д4000-95, у другій та третій – по 2 вертикальних відцентрових насоса типу 600-1,0/100-0-І. Скидання нагрітої води після споживачів РДЕС передбачено в водоприймальні камери насосних техводопостачання.

Охолодження внутрішнього контуру дизель – генератора здійснюється з бака запасу знесоленої води $V = 2,5 \text{ м}^3$ з присадкою інгібітора корозії. Заповнення бака запасу виконується із загальностанційної системи знесоленої води.

Підживлення розширювального бака $V = 0,5 \text{ м}^3$ проводиться автоматично із бака запасу знесоленої води двома насосами (один резервний)

3.1.4 Система пускового повітря

Запуск дизель-генератора здійснюється від балонів пускового повітря $V = 400$ л (10 шт.). Заповнення балонів стисненим повітрям здійснюється від ресиверів системи живлення пневмовідсичної арматури АЕС.

Запасу повітря у балонах достатньо для чотирьох послідовних пусків дизель-генератора.

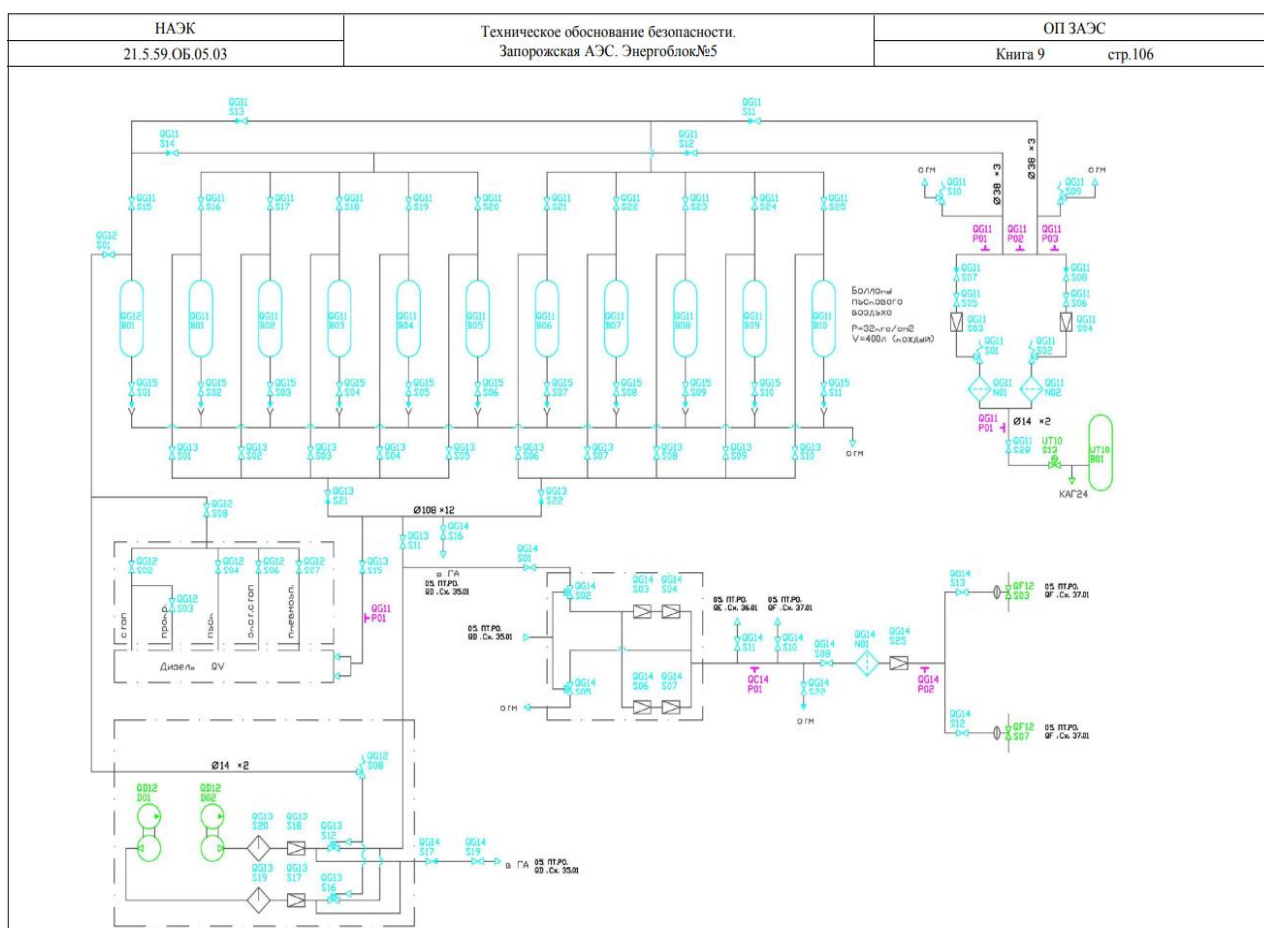


Рисунок 3.1 - Схема системи пускового повітря

3.1.5 Системи опалення та вентиляції

Системи опалення та вентиляції, призначені для підтримки необхідних параметрів повітря у приміщеннях РДЕС з метою забезпечення надійного запуску та роботи ДГ.

Для забезпечення в режимі очікування температури повітря в камері всмоктування не нижче 20°C, враховуючи наявність відкритих прорізів у лабіринті, передбачається влаштування повітряно-теплової завіси.

Крім того, у камері всасу передбачено встановлення електропечей. Для підтримки температури повітря в машзалі та технологічному підвалі 20°C в режимі очікування передбачена водяна система опалення. На випадок можливих аварій у системі теплопостачання передбачені електрокалориферні установки у машинному залі РДЕС та технологічному підвалі. Температура повітря в технологічному підвалі осередку і машзалі кіморок 2 та 3 не нижче 20°C забезпечується за рахунок тепловиділень електродвигунів насосів техводи споживачів групи "А".

Системи забирають повітря з верхньої зони машзалу, охолоджують його в поверхневих повітроохолоджувачах техводою групи «А» і подають у робочу зону.

3.1.6 Електропостачання власних потреб РДЕС

Електропостачання власних потреб кожної ячійки РДЕС передбачається від своєї однотрансформаторної знижувальної підстанції 6/0,4 кВ, підключеної до шин власних потреб 6 кВ секції споживачів другої групи надійності.

Живлення ланцюгів автоматики дизель-генератора здійснюється в режимі нормальної експлуатації від випрямного пристрою 24 В, а в режимі аварійного

знеструмлення АЕС – від незалежного джерела оперативного струму 24 В – акумуляторної батареї, що працює в режимі постійного підзаряду від випрямного пристрою.

Електроустаткування систем, відповідальних за працездатність РДЕС, прийнято сейсмостійкими.

3.1.7 Автоматична пожежна сигналізація

Проектом передбачається автоматична пожежна сигналізація у всіх приміщеннях РДЕС. У разі пожежі передбачено автоматичне вимкнення вентустановок відповідних приміщень та включення автоматичного пожежогасіння в технологічному підвалі комірки 1, де встановлені насоси підкачування палива.

Кабелі пожежної сигналізації прийняті мідними, що розповсюджують горіння, та прокладені у водогазопровідних трубах.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ПУСКОВОГО ПОВІТРЯ РДЕС

4.1 Поняття та принципи проведення розрахунків

Дослідження сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС полягає у визначенні здатності системи витримувати сейсмічні навантаження під час землетрусу.

Для проведення розрахунків сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС застосовуються наступні принципи:

1. Визначення сейсмічних навантажень, що діють на систему пускового повітря РДЕС. Це включає аналіз параметрів землетрусу на заданій території, в тому числі амплітуди коливань, тривалості, спектральні характеристики тощо.
2. Визначення сейсмічної стійкості системи пускового повітря РДЕС. Це включає розрахунок сейсмічних сил та моментів, що виникають в системі під час землетрусу, а також визначення сейсмічної стійкості окремих елементів системи та всієї системи в цілому.
3. Визначення відповідності результатів розрахунків нормативним вимогам та встановлення заходів щодо забезпечення необхідної сейсмічної стійкості системи пускового повітря РДЕС.

Результатом проведення розрахунків є визначення сейсмічної стійкості системи пускового повітря РДЕС, а також встановлення необхідних заходів щодо забезпечення її стійкості під час землетрусу. Основними заходами можуть бути використання сейсмостійких матеріалів та конструкцій, установка додаткових амортизаторів, а також проведення регулярного технічного обслуговування та перевірок системи на сейсмостійкість.

Процес розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС складається з наступних етапів:

1. Визначення параметрів сейсмічної дії, таких як акселерації, швидкість та деформації, що можуть виникнути під час землетрусу в даній місцевості.
2. Розрахунок навантаження, яке діє на систему пускового повітря РДЕС під час землетрусу. Для цього використовуються спеціальні формули та коефіцієнти, які враховують фізичні та геометричні характеристики системи.
3. Визначення сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС за допомогою спеціальних методів розрахунку. Один з таких методів - це метод коефіцієнта запасу міцності. За допомогою цього методу визначається коефіцієнт запасу міцності, який повинен бути більше одиниці, щоб система була сейсмостійкою.
4. Оцінка результатів розрахунків та прийняття рішення про необхідність заходів щодо покращення сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС.

4.2 Методи підвищення кваліфікації обладнання системи пускового повітря РДЕС

4.2.1 Варіант підвищення кваліфікації методу розрахункового аналізу

Як метод аналізу використовується метод кінцевих елементів. За основу взято методику граничної сейсмостійкості (МГС) [15], затверджена Держатомрегулювання відповідно до Листа 18-31/5508 від 01.09.2014 р.

Склад вихідних даних для виконання розрахунків на сейсмостійкість включає:

- проектну документацію: проектні та монтажні креслення, розрахунки;
- визначення параметрів та навантажень, що відповідають робочому режиму (режим нормальної експлуатації), який передбачається сумісним із настанням землетрусу;

– поверхові спектри відповіді.

Результати виконання розрахункового аналізу елементів під час статичних і динамічних навантажень дозволяють визначити внутрішні силові чинники, виходячи з яких обчислюються напруги.

Для обчислення величини граничної сейсмостійкості HCLPF використовується коефіцієнт запасу FS, який визначається залежно від [15]:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{(D_S^2 + D_{SAM}^2)^{1/2} + \delta C_S} \quad (4.1)$$

У спрощеному вигляді формула (4.1) набуває наступного вигляду:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{D_S} \quad (4.2)$$

де 3 – значення допустимого параметра (наприклад, напруги, що допускається);

D_{NS} - Внесок у оцінюваний параметр всіх несейсмічних навантажень, що входять до запропонованої комбінації навантажень;

D_S - Внесок в оцінюваний параметр тільки сейсмічних інерційних навантажень;

D_{SAM} - Внесок в оцінюваний параметр навантажень від сейсмічного зміщення опор;

δC_S – зниження величини допустимого параметра внаслідок дії сейсмічного навантаження (наприклад, міцність стіни по відношенню до зсувних навантажень може бути зменшена вертикальним розтягуючим навантаженням на цю стіну, викликаною сейсмічним подією).

APM Structure 3D дозволяє обчислювати напруги окремо лише від вкладу сейсмічних навантажень, тобто створюється окрема комбінація завантажень – МРЗ, яка враховує векторне додавання сейсмічних навантажень за трьома напрямками. При

цьому напруги (s), одержувані при комбінації МРЗ, можуть бути безпосередньо підставлені у формулу (4.2). У такому разі формула (4.2) набуває наступного вигляду:

$$FS = \frac{(1,8 \cdot [\sigma] - \sigma_2)}{\sigma_s} \quad (4.3)$$

При проведенні лінійно – пружного розрахунку величина параметра HCLPF у розмірності максимального прискорення землетрусу на майданчику АЕС (g), який може витримати елемент, що розглядається, визначається співвідношенням:

$$HCLPF = FS \cdot F_\mu \cdot PGA, \quad (4.4)$$

де F_μ - Коефіцієнт непружного поглинання енергії (див. таблицю 3.1 методики [15]);

для балкових металоконструкцій – 1,25;

для сталевих корпусів обладнання 2,0;

для зварювальних швів 1,0.

$PGA = 0.17g$, - Прискорення нульового періоду (пікове прискорення).

У той же час, напруги, отримані від НЕ (σ_2) та від сумарного впливу НЕ+МРЗ ($(\sigma_s)_2$), перевіряються щодо неперевищення допустимих напруг, наведених у таблиці 5.14 пункту 5.11.2.18 ПНАЕ Г–7–002–86 [16].

Розрахунки елементів на сейсмостійкість виконуються з урахуванням фактичної геометрії, розміщення, стану опор та властивостей матеріалу.

Для опорних металоконструкцій оцінка сейсмостійкості виконується відповідно до норм [17], [18].

Геометричні розміри опорних конструкцій уточнюються за місцем експлуатації. Опорні конструкції, для яких відсутня точна інформація щодо матеріалу, консервативно приймаються із матеріалом найменшого класу міцності – С235.

Розрахунковий опір для даного класу міцності дорівнює $R_y = 230, H / мм^2$ (Додаток 5 [17]).

Допустима напруга для матеріалу з класом міцності С235:

$$R_d = \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} = 184, H / мм^2 \quad (4.5)$$

Де, γ_c - Коефіцієнт умов роботи (таблиця 5.1 [17])

γ_n - Коефіцієнт надійності (Таблиця 5 [18])

У такому випадку для металоконструкцій коефіцієнт запасу FS визначається за наступною залежністю:

$$FS = \frac{(R_d - \sigma_s)}{\sigma_s} \quad (4.6)$$

Сейсмостійкість металоконструкцій вважається забезпеченою при виконанні наступних умов:

- 1) величина граничної сейсмостійкості $HCLPF > PGA$;
- 2) максимальні значення еквівалентних напруг у всіх вузлах та елементах не перевищують значення розрахункового опору (критерій міцності $(\sigma_s)2 < R_d$);
- 3) відповідно до [17] виконуються такі умови:
 - виконуються критерії міцності та стійкості конструктивних елементів металоконструкції;
 - виконуються умови міцності та сейсмостійкості зварних та болтових з'єднань.

За нормами [17] зварні з'єднання з кутовими швами при дії поздовжньої та поперечної сил слід розраховувати на зріз (умовний) за двома перерізами:

Умови міцності металу шва:

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f l_w \gamma_c} \leq R_{wf}; \quad (4.7)$$

Умови міцності по металу межі сплавлення:

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_z k_f l_w \gamma_c} \leq R_{wz}; \quad (4.8)$$

Де:

N	Еквівалентна сила у вузлі, Н
R_{wf}	розрахункові опір кутових швів зрізу (умовному), по металу шва Н/мм ²
R_{wz}	розрахункові опір кутових швів зрізу (умовному), по металу межі сплавлення, Н/мм ²
β_f	коефіцієнт (Таблиця 16.2 [17])
β_z	коефіцієнт (Таблиця 16.2 [17])
k_f	катет зварного шва, мм
l_w	розрахункова довжина зварного шва, мм

—	γ_c	коефіцієнт умов роботи (таблиця 5.1 [17])
—	γ_n	коефіцієнт надійності (Таблиця 5 [18])

Зважаючи на відсутність точної інформації, матеріал всіх опорних конструкцій консервативно приймається з найменшим класом міцності – Ст3кп2,

$$R_{wf} = 180 \text{ H / мм}^2 \text{ (Таблиця Д.2[17]);}$$

$$R_{wz} = 0.44R_{un} = 158,4, \text{ H / мм}^2.$$

де $R_{un} = 360, \text{ H / мм}^2$ - Характеристичний опір (тимчасовий опір сталі розриву), що приймається відповідно до таблиці Г.2 [17].

Еквівалентна сила N, що виникає в опорі з найбільшими зусиллями при впливі навантажень НУЕ+МРЗ визначається як максимум з:

$$N = \max \begin{cases} \pm \sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2} \\ \pm(N_x \pm 0,4N_y \pm 0,4N_z) \\ \pm(0,4N_x \pm N_y \pm 0,4N_z) \\ \pm(0,4N_x \pm 0,4N_y \pm N_z) \end{cases} \quad (4.9)$$

Для обчислення величини граничної сейсмостійкості HCLPF для зварних з'єднань використовуються такі формули:

- за умовою міцності по металу шва:

$$FS = \frac{R_{wf} - \sigma_{НУЭ}}{\sigma_{МРЗ}} \quad (4.10)$$

- за умовою міцності по металу межі сплавлення:

$$FS = \frac{R_{wz} - \sigma_{H\gamma\gamma}}{\sigma_{MP3}} \quad (4.11)$$

Величина граничної сейсмостійкості дорівнює:

$$HCLPF = FS \cdot F_{\mu} \cdot PGA \quad (4.12)$$

При розрахунку болтових з'єднань враховуються такі види навантажень, що прикладаються на одну кріпильну деталь (болт) - поздовжня (F_x) та дві поперечні (F_{Fy} і F_{Fz}).

Так сили, що припадають на одну кріпильну деталь (болт), обчислюються за такими формулами:

$$F_{p1} = F_x; F_{c1} = \sqrt{F_{Fy}^2 + F_{Fz}^2}; \quad (4.13)$$

де, F_{p1}, F_{c1} - зусилля розтягування та зрізу;

Умови міцності для болтів (п. 16.2[17]):

На розтягування:

$$R_p \geq \frac{F_{p1}}{A_{bn} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n}, \text{ Н / мм}^2 \quad (4.14)$$

Для зрізу:

$$R_{cp} \geq \frac{F_{c1}}{A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c \cdot \gamma_n}, \text{ Н / мм}^2 \quad (4.15)$$

Де:

R_p розрахункові опори розтягування, Н/мм² (Таблиця Д.4 [17])

-

R_{cp} розрахункові опори зрізу, Н/мм² (Таблиця Д.4 [17])

-

A_b площа поперечного перерізу болта за зовнішнім діаметром,
- мм²

-

A_{bn} площа поперечного перерізу болта за внутрішнім діаметром
різьби, мм²

n_s кількість площин зрізу болта, шт.

γ_b коефіцієнт умов роботи (таблиця 5.1 [17])

γ_c коефіцієнт умов роботи (таблиця 5.1 [17])

γ_n коефіцієнт надійності (Таблиця 5 [18])

Відповідно до норм [17] приймаємо такі значення коефіцієнтів – $R_p = 225$ Н/мм²
 $R_{cp} = 210$ Н/мм² $\gamma_c = 1$, $\gamma_n = 1,25$.

Для обчислення величини граничної сейсмостійкості HCLPF у болтових з'єднаннях коефіцієнт запасу набуває вигляду:

Для розтягування

$$FS_p = \frac{R_p - \sigma_{p(HVЭ)}}{\sigma_{p(MPЗ)}}, \quad (4.16)$$

Для зрізу

$$FS_{cp} = \frac{R_{cp} - \sigma_{p(HVЭ)}}{\sigma_{p(MPЗ)}} \quad (4.17)$$

де $\sigma_{p(cp)(MPЗ)}$ – розрахункова напружка розтягування (зрізу) при впливі навантажень MPЗ у найбільш напруженому болтовому з'єднанні,

$\sigma_{p(cp)(HYD)}$ - Розрахункова напруга розтягування (зрізу) при впливі навантажень НУЕ в болтовому з'єднанні,

FS_p - Коефіцієнт запасу по умові міцності на розтягування

Величина граничної сейсмостійкості дорівнює:

$$HCLPF = FS \cdot F_{\mu} \cdot PGA \quad (4.18)$$

Для болтових з'єднань, відповідно [15], $F_{\mu}=1,25$.

Для виконання критеріїв міцності та стійкості конструктивних елементів металоконструкцій, відповідно до [17], необхідно виконання наступних умов:

Міцність при розтягуванні/стиску (п. 8.1.1 [17]):

$$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1 \quad (4.19)$$

де N - Поздовжнє зусилля;

γ_n - Коефіцієнт надійності по відповідальності (коефіцієнт відповідальності), який визначається згідно таблиці 5 [18];

γ_c - Коефіцієнт умови роботи, визначається згідно з таблицею 5.1 [17];

A_n - Площа перерізу нетто,

Стійкість при стисканні пл. XOY та XOZ (п. 8.1.3 [17]):

$$\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1 \quad (4.20)$$

де φ - Коефіцієнт стиснення, що визначається згідно з п. 8.1.3 [17];

A - Площа перерізу брутто

Міцність при згинанні пл. XOY та XOZ (п. 9.2.1 [17]):

$$\frac{M\gamma_n}{M_{n,\min}R_y\gamma_c} \leq 1 \quad (4.21)$$

де M - Згинальний момент;

Міцність під дією поперечної сили Q_y та Q_z (п. 9.2.1 [17]):

$$\frac{QS_x\gamma_n}{l_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1 \quad (4.22)$$

де Q - Поперечне зусилля, сила зсуву;

S – статичний момент зсувної частини перерізу брутто щодо центральної осі;

I_x -момент інерції перерізу брутто щодо осі інерції $x - x$;

t_w -товщина стінки;

R_s - Розрахунковий опір сталі зсуву;

Міцність при стисканні та згинанні (п. 10.1 [17]):

$$\left(\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x \gamma_n}{c_x W_{xn,\min} R_y \gamma_c} + \frac{M_y \gamma_n}{c_y W_{yn,\min} R_y \gamma_c} \leq 1 \quad (4.23)$$

де W_x – момент опору перерізу нетто щодо осі інерції $x - x$;

W_y – момент опору перерізу нетто щодо осі інерції $y - y$;

s_x - коефіцієнт розрахунку з урахуванням розвитку пластичних деформацій при згині щодо осі інерції $x - x$;

s_y - коефіцієнт розрахунку з урахуванням розвитку пластичних деформацій при згині щодо осі інерції $y - y$;

З метою коректного обліку навантажень від арматури, розміщеної на опорній металоконструкції проводиться розрахунок її сейсмостійкості. В результаті розрахунку сейсмостійкості арматури встановлюються зусилля, що впливають на елементи опорної металоконструкції.

Відповідно до положень [18], розрахунок на сейсмостійкість арматури проводиться у схемі жорсткого закріплення патрубків, з використанням спектрів відповіді для найвищої позначки розміщення арматури однієї групи опорних металоконструкцій. Виходячи з того, що арматури знаходяться на проміжних опорних конструкціях, то сейсмічні навантаження приймаються зі збільшуючим коефіцієнтом, що дорівнює 2 (П.6.1.6 [6]). Додатково при розрахунку сейсмостійкості арматури враховується значення її власної ваги та умови експлуатації.

Для груп опорних металоконструкцій, де на конструкціях одного виду встановлена арматура різних типів, проводиться додатковий аналіз, метою якого є визначення арматури, що надає найбільший вплив на опорну металоконструкцію. Для подальшого розрахунку опорної металоконструкції вибирається арматура із найбільшим значенням отриманих зусиль (арматура з найбільшою масою).

Метод розрахункового аналізу обладнання проводиться відповідно до методу граничної сейсмостійкості [6].

Метою розрахунків було визначення граничної сейсмостійкості обладнання.

Для обчислення величини граничної сейсмостійкості HCLPF використовується коефіцієнт запасу FS, який визначається співвідношенням:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{(D_S^2 + D_{SAM}^2)^{0.5} + \delta C_S}, \quad (4.24)$$

де: C - значення допустимого параметра (наприклад, напруги, що допускається);

DNS - внесок у оцінюваний параметр всіх несейсмічних навантажень, що входять до запропонованої комбінації навантажень;

DS - вклад в оцінюваний параметр лише сейсмічних інерційних навантажень;

DSAM - вклад в оцінюваний параметр навантажень від сейсмічного зміщення опор;

δC_S - зниження величини допустимого параметра через дію сейсмічного навантаження.

При проведенні лінійно-пружного розрахунку величина параметра HCLPF у розмірності максимального прискорення землетрусу на майданчику АЕС «g» визначається співвідношенням:

$$HCLPF = FS * F_\mu * ZPGA, \quad (4.25)$$

Розрахунки виконували з використанням програмного комплексу ANSYS, включеного до переліку дозволених до використання у ДП «НАЕК «Енергоатом» розрахункових кодів для обґрунтування безпеки ядерних установок [7].

Результати проведення підвищення кваліфікації методом розрахункового аналізу виконано для 12 груп обладнання на 2 етапі.

4.3. Розрахунки та їх результат

Внаслідок встановлення оцінки поточної кваліфікації ТМО РДЕС, представлених у [21]. Для цього обладнання потрібне призначення варіантів підвищення кваліфікації.

Відповідно до [5], варіантами підвищення кваліфікації можуть бути:

- заміна обладнання на нове (модернізоване);
- розробка та впровадження компенсуючих заходів (наприклад, виконання додаткових посилень, анкерувань, переміщення обладнання, зміна відносного стану обладнання);
- модифікація;
- проведення додаткових розрахунків та/або випробувань.

Для пасивного тепломеханічного обладнання [5], як метод підвищення кваліфікації приймається розрахунковий аналіз чи досвід експлуатації.

У рамках цієї роботи з технічної та економічної доцільності було обрано такі варіанти підвищення кваліфікації:

- компенсуючі заходи – (КМ);
- розрахунковий аналіз – (РА);
- заміна – (З);

4.3.1 Групування обладнання РДЕС

Групування устаткування виконується з метою оптимізації обсягів робіт для формування вихідних даних, і навіть на етапах підвищення кваліфікації некваліфікованого устаткування.

Основні принципи групування при кваліфікації на сейсмічні впливи полягає у поділі обладнання на кваліфікаційні групи відповідно до наведених нижче критеріїв:

- Критерій 1 - Вид обладнання (GIP-клас);
- Критерій 2 - Тип обладнання;
- Критерій 3 – Виявлена нестача обладнання (зауваження).

Цей підхід дозволяє вибрати для кожної з груп обладнання типопредставник, результати підвищення, кваліфікації якого можна поширити на всю групу в цілому.

Відповідно до критерію 1 обладнання поділяється на 20 підгруп за видами обладнання (GIP-класами, [22]), що відповідають класам за методикою GIP-BBER.

Таблиця 4.1 Класи обладнання по GIP-BBER

№ класу	Позначення	Класи обладнання
1	MCC	Шафи керування електроприводами
2	LVS	Розподільні пристрої низької напруги
3	MVS	Розподільні пристрої середньої напруги
4	TRN	Трансформатори
5	HP	Горизонтальні насоси
6	VP	Вертикальні насоси
7	FOV	Арматура із пневматичним (гідравлічним) приводом 1)
8	MOV, SOV	Арматура з електро та електромагнітним приводом 2)
9	FAN	Вентилятори

№ класу	Позначення	Класи обладнання
10	АН	Кондиціонери
11	CHL	Холодильні машини
12	АС	Повітряні компресори
13	MG	Мотор-генератори
14	DP	Розподільні панелі
15	BAT	Акумулятори на стелажах
16	BCI	Пристрої для заряджання батарей та перетворювачі (інвертори)
17	EG	Дизель генератор
18	IR	Прилади на стійках
19	TS	Датчики температури, термопари
20	I&C	Панелі та шафи систем керування (СУ)
21	СТ	Опорні конструкції кабельних трас та каналів
22	T&HE	Баки, теплообмінники, фільтри
23	Undefined	Не визначений

¹⁾ Включаючи зворотні клапани;

²⁾ Включаючи арматуру із ручним приводом.

За критерієм 2 тип обладнання є важливою ознакою при групуванні, на підставі якого встановлюються загальні для однотипного обладнання виконувані функції, принцип роботи та ідентичність конструктивного виконання, при якому можна застосувати результати кваліфікації обраного представника типової серії для іншого обладнання.

Відповідно до критерію 3 обладнання, що об'єднується в групи, повинно мати схожі недоліки та рекомендації щодо їх усунення.

Після групування від кожної групи обладнання проводиться вибір типопредставників з урахуванням конструктивних особливостей обладнання та умов експлуатації таким чином, щоб було забезпечено можливість проведення спільних заходів та загальних підходів щодо підвищення кваліфікації для групи обладнання загалом.

Типопредставником у кожній із груп, вибирається обладнання, що має максимальні кваліфікаційні вимоги (КВТ) за трьома напрямками сейсмічного впливу.

Групування ТМО РДЕС та метод підвищення кваліфікації буде наведений в додатку А.

За результатами групування обладнання зі статусом КНУ було згруповане до 12 груп, для якого призначено метод підвищення кваліфікації «РА» – розрахунковий аналіз». Результати оцінки методом «РА» представлені у Додатках цього звіту.

Устаткування, для якого призначено метод підвищення кваліфікації «КЗ» - компенсуючі заходи» не групувалося.

4.4 Підвищення кваліфікації балонів пускового повітря (група Т-1)

За результатами групування балони пускового повітря були згруповані до групи Т-1 (див. табл. 4.2). Дане обладнання має однакову конструкцію, параметри робочого середовища та позначку встановлення в будівлі РДЕС.

Таблиця 4.2 Перелік елементів обладнання групи Т-1

№ групи	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	Завод виробник
Т-1	Балон пускового повітря, Балон повітря системи керування	5QG11B01	23-220-003	0,0	п/я В-8739, Росія
		5QG11B02			
		5QG11B03			
		5QG11B04			
		5QG11B05			
		5QG11B06			
		5QG11B07			
		5QG11B08			
		5QG11B09			
		5QG11B10			
		5QG12B01			
		5QG21B01			
		5QG21B02			
		5QG21B03			
		5QG21B04			
		5QG21B05			
		5QG21B06			
		5QG21B07			
		5QG21B08			
		5QG21B09			
		5QG21B10			
		5QG22B01			
		5QG31B01			

№ групи	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	Завод виробник
T-1	Балон пускового повітря, Балон повітря системи керування	5QG31B02 5QG31B03 5QG31B04 5QG31B05 5QG31B06 5QG31B07 5QG31B08 5QG31B09 5QG31B10 5QG32B01	23-220-003	0,0	п/я В-8739, Росія

На рисунку 4.1 представлено загальний вигляд балонів пускового повітря та основні розміри.

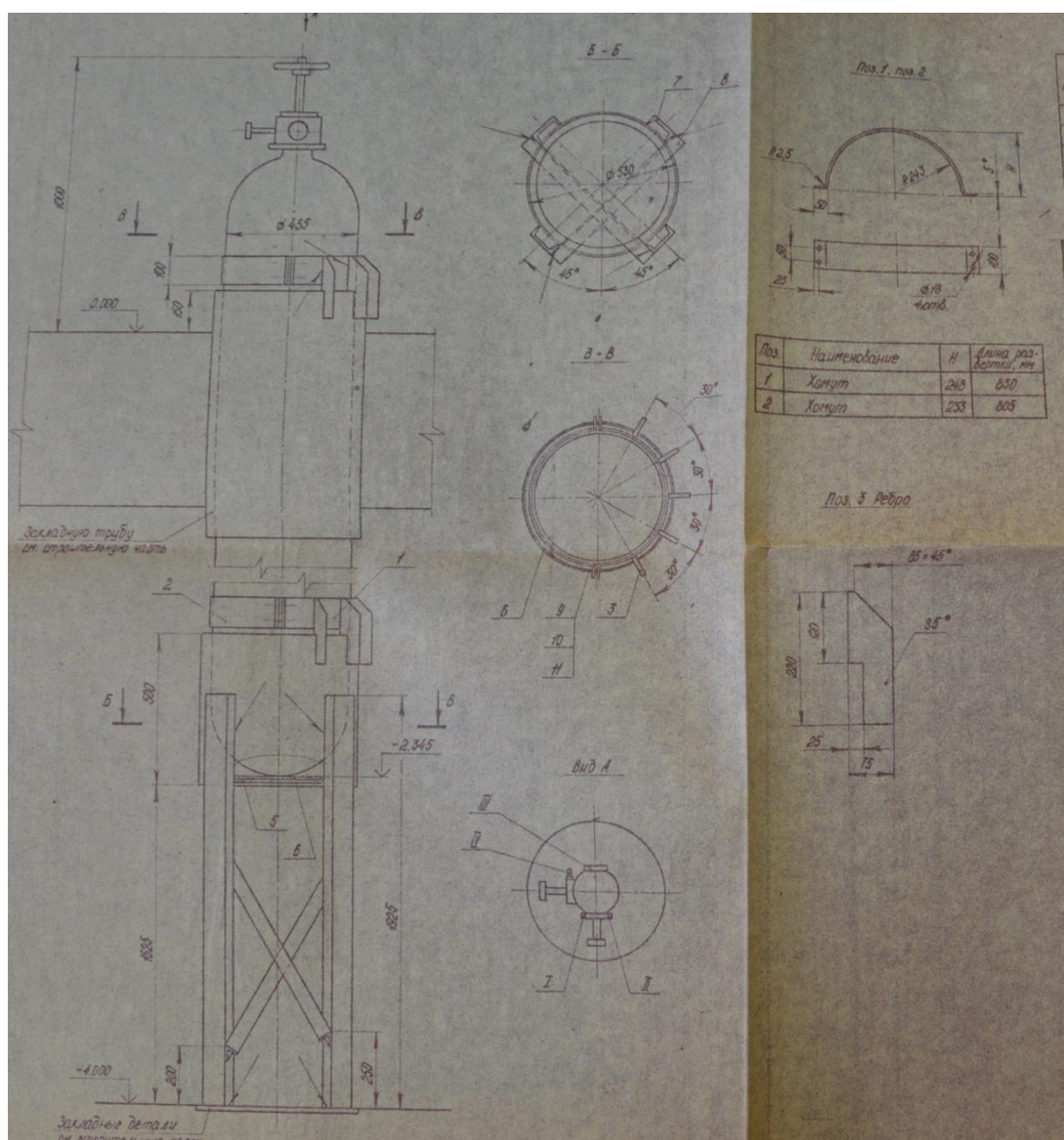


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд балонів пускового повітря

У таблиці 4.3 наведено технічні характеристики балонів пускового повітря.
Таблица 4.3 Технические характеристики балонів пускового повітря.

Робочий тиск	100 кгс/см ²
Робоче середовище	Повітря

4.5 Матеріали та допустима напруга

Механічні характеристики матеріалів елементів балона пускового повітря наведені у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 Механічні характеристики матеріалів елементів балона пускового повітря

Елемент конструкції	Матеріал	T, °C	R ^T _{p0,2} , МПа	R ^T _m , МПа
Балон	Ст45	20	637	353
Опорні конструкції	Ст3	20	373	245

Відповідно до ПНАЕ Г-7-002-86 [10] номінальну допустиму напругу для елементів обладнання приймають мінімальним з наступних значень:

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_m^T}{n_m}; \frac{R_{p0.2}^T}{n_{0.2}} \right\} \quad (4.26)$$

де $n_m = 2.6$, $n_{0.2} = 1.5$.

Величини напруг, що допускаються, при розрахункових параметрах наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Допустима напруга для елементів балона пускового повітря

Матеріал	Температура, °C	НЭ, МПа		НЭ+МРЗ, МПа	
		[σ]	1,3[σ]	1,4[σ]	1,8[σ]
Ст45	20	235,3	305,9	329,5	423,5
Ст3	20	143,5	186,5	200,8	258,2

4.6 Сейсмічний вплив

Обладнання розташованого в будівлі РДЕС на позначці 0.00 м. Оцінка виконана з використанням сейсмічної дії з максимальним прискоренням піковим $ZPGA=0.17g$.

На рисунку 4.2 наведено поверхові спектри відповіді згідно [9], використані при розрахунку.

При використанні методу граничної сейсмостійкості [6] та згідно з рекомендаціями МАГАТЕ для обладнання приймати демпфування 5% щодо критичного.

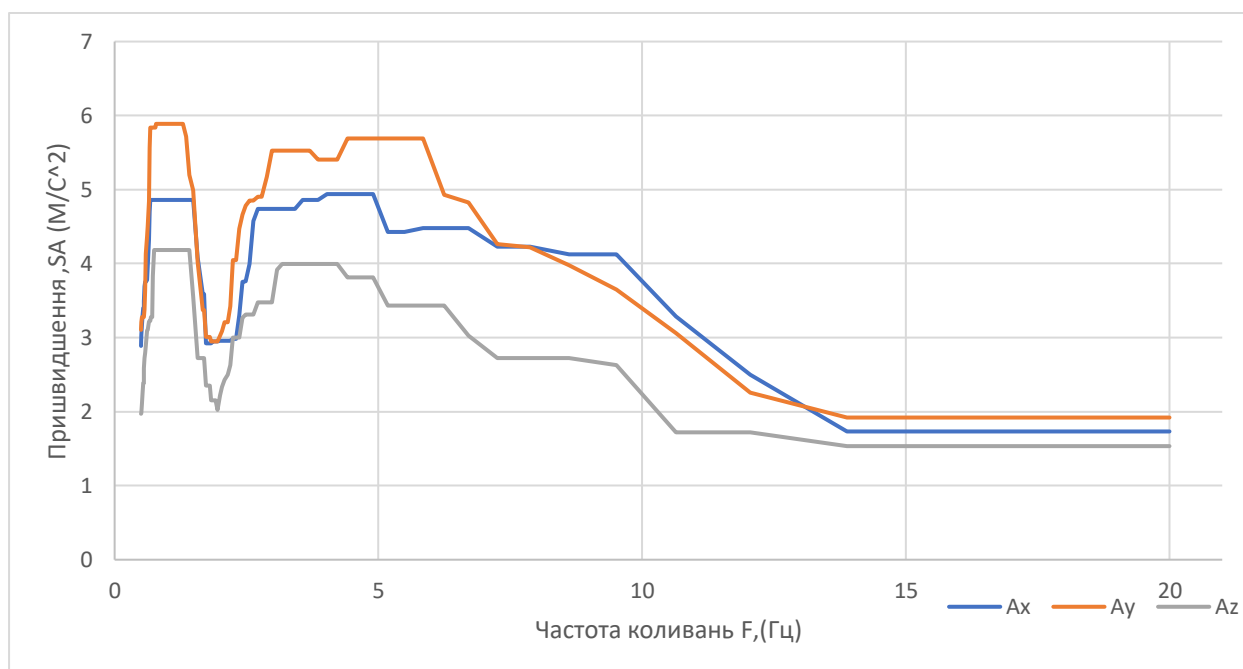


Рисунок 4.2 – Спектри відповіді на позначці 0,0. Залежність прискорення частоти коливань.

4.7 Оцінка сейсмостійкості

Сейсмічний вплив задано відм. +0,000.

Загальний вигляд моделі балонів пускового повітря показано на рисунку

4.3.

Розрахункова схема характеризується такими параметрами:

кількість вузлів..... 246639;

кількість кінцевих елементів..... 124174

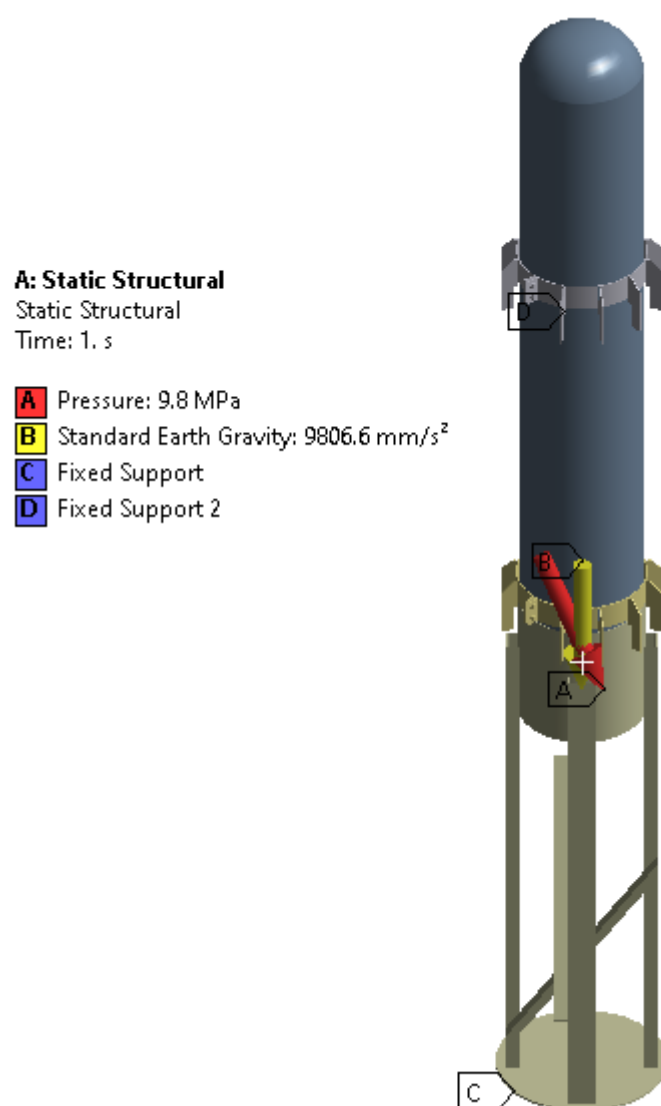


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд моделі балонів пускового повітря

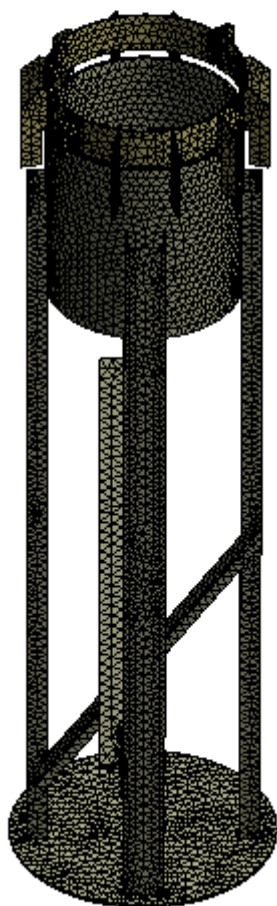


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд моделі опорної металоконструкції

Результати розрахунку своїх коливань по осях x , y та z буде наведений в додатку

Б.

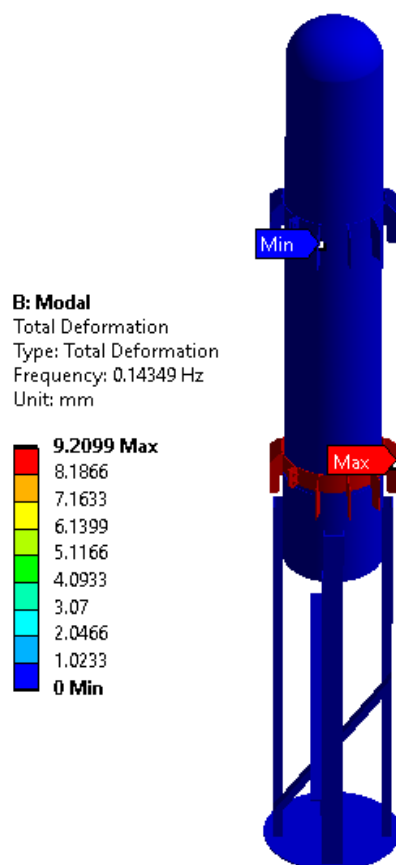


Рисунок 4.5 – Перша власна частота коливань 0.143 Гц

Результати розрахунку еквівалентної напруги при НУЕ, МРЗ та НУЕ+МРЗ представлені на рисунках 4.6 – 4.8.

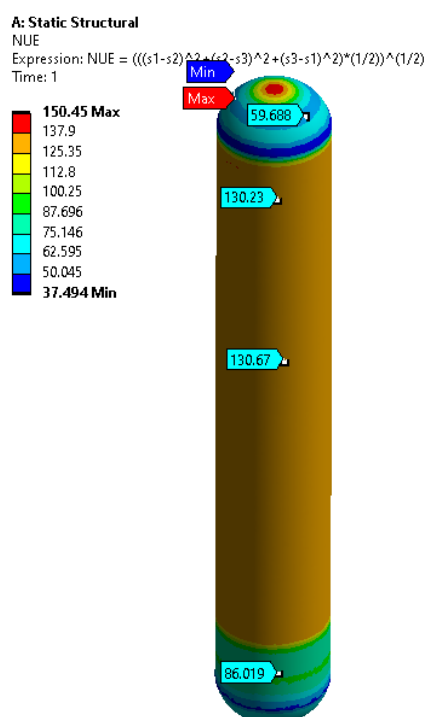


Рисунок 4.7 – Наведена напруга при НЕ в елементах балонів пускового повітря

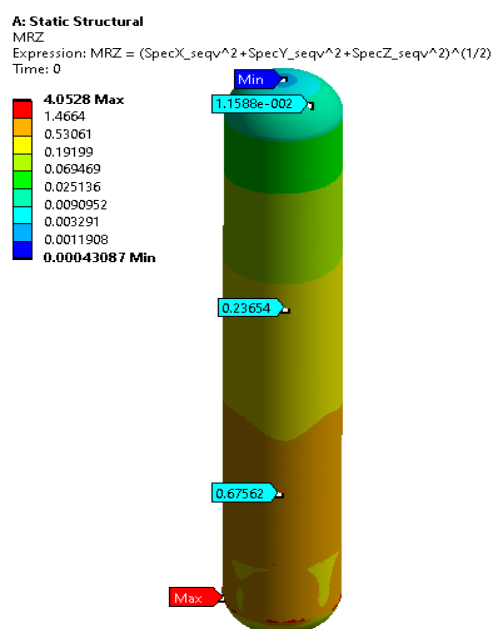


Рисунок 4.8 – Наведена напруга при МРЗ в елементах балонів пускового повітря

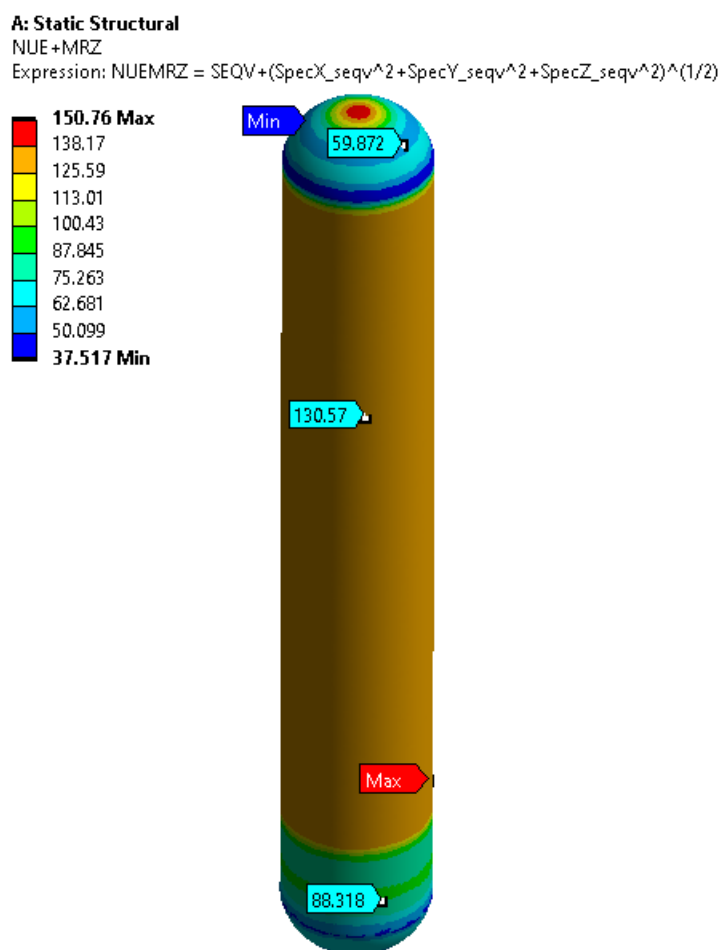


Рисунок 4.9 – Наведена напруга при HE+MP3 в елементах балонів пускового повітря

В соответствии с ДБН В.2.6-198: 2014 [5].

$$FS = \min \left\{ \frac{([\sigma]_{HE+MP3} - \sigma_2^*)}{(\sigma_{sMAX})}, \frac{([\sigma]_{HE+MP3} - \sigma_2^{MAX})}{(\sigma_s^{**})} \right\} \quad (4.28)$$

* - напруга від режиму HE, визначене в тому ж перерізі, в якому локалізується екстремум напруги від сейсмічних навантажень MP3;

** - напруга від режиму MP3, визначена у тому перерізі, у якому локалізується екстремум напруг від режиму HE.

де $[\sigma] = \sigma * 1.8 = 423,5$

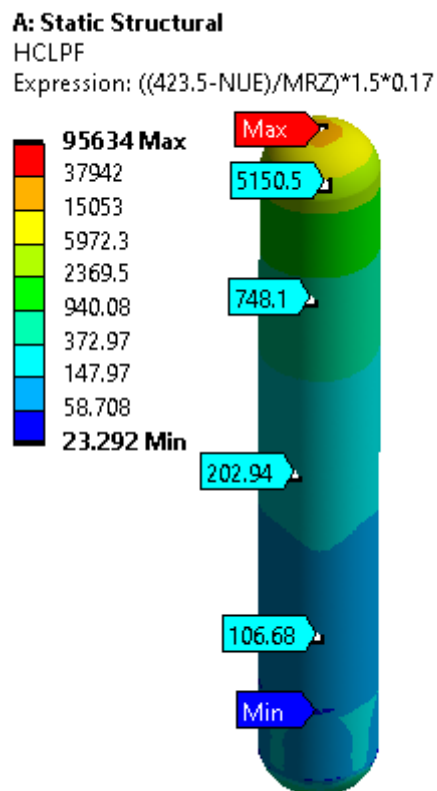


Рисунок 4.10 – HCLPF балонів пускового повітря

Критерії міцності балонів пускового повітря виконуються.

Результати розрахунку еквівалентної напруги при NUE, MPЗ та NUE+MPЗ для опорних елементів представлені на малюнках 4.11 – 4.13.

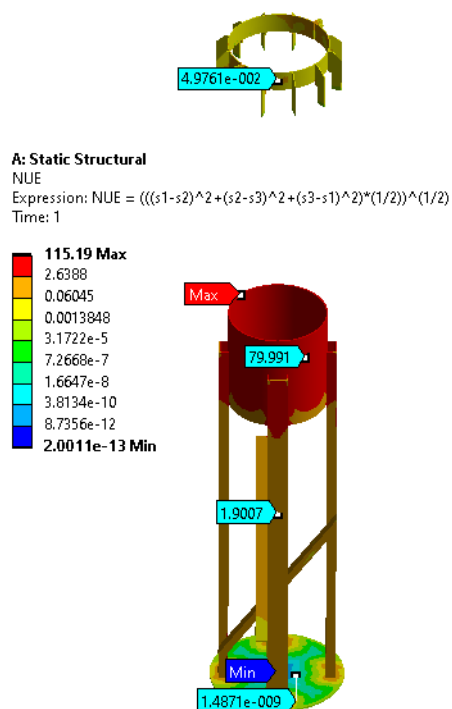


Рисунок 4.11 – Наведена напруга при НЕ в елементах балонів пускового повітря

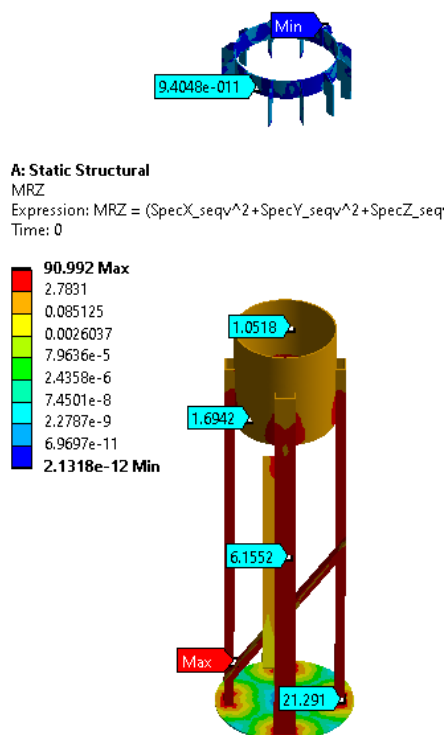


Рисунок 4.12 – Наведена напруга при МРЗ в елементах балонів пускового повітря

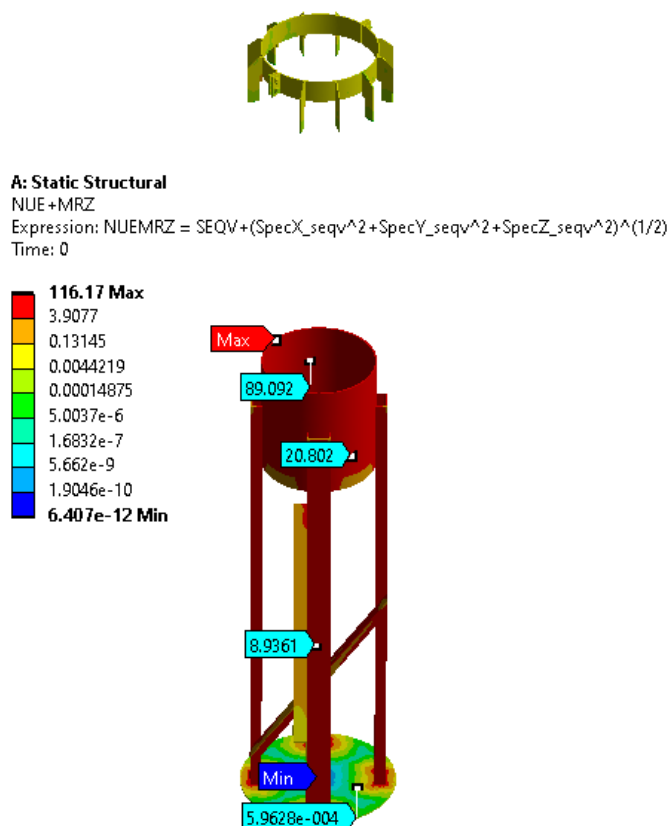


Рисунок 4.13 – Наведена напруга при HE+MP3 в елементах балонів пускового повітря

Відповідно до ДБН В.2.6-198: 2014 [5].

$$FS = \min \left\{ \frac{([\sigma]_{HE+MP3} - \sigma_2^*)}{(\sigma_{sMAX})}, \frac{([\sigma]_{HE+MP3} - \sigma_2^{MAX})}{(\sigma_s^{**})} \right\}, \quad (4.29) \text{ де}$$

* - напруга від режиму HE, визначене в тому ж перерізі, в якому локалізується екстремум напруги від сейсмічних навантажень MP3;

** - напруга від режиму MP3, визначена у тому перерізі, у якому локалізується екстремум напруг від режиму HE.

$$\text{де } [\sigma] = \frac{R_y \gamma_c}{\gamma_n} \quad (4.30)$$

де $R_y = R_{yn} / \gamma_m$;

$\gamma_m = 1.050$ – табл. 7.2 ДБН В.2.6-198:2014.

$R_{yn} = 235 \text{ МПа}$ – табл. 2 ДСТУ 4484:2005;

$\gamma_c = 0.9$ – табл. 5.1 ДБН В.2.6-198:2014.

$\gamma_n = 1.25$ – таблиця 5 ДБН В.1.2-14:2018;

$[\sigma] = 161.14 \text{ МПа}$

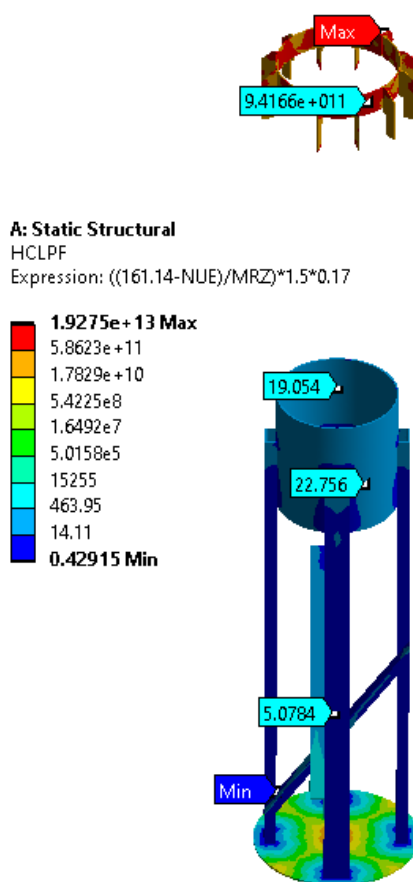


Рисунок 4.14 – HCLPF опори балонів пускового повітря

Мінімальне значення $HCLPF = 0,43$ критерії міцності опори балонів пускового повітря виконуються.

Розглянута опорна конструкція закріплена за допомогою зварного з'єднання.

Характеристики зварних швів консервативно прийняті мінімальними відповідно до норм [15]. Зусилля, що виникають у зварних з'єднаннях, наведено у таблиці Б.1.5.

Таблиця 4.6 - Зведена таблиця зусиль, що виникають у зварних швах опори

№ п/п	НУЭ			МРЗ			НУЭ+МРЗ		
	R _x	R _y	R _z	R _x	R _y	R _z	R _x	R _y	R _z
1	0.00	0.00	6215.00	295.43	268.32	1053.60	295.43	268.32	7268.60

Розрахункова довжина зварного шва консервативно прийнято 20 мм, катет зварного шва консервативно прийнято 4 мм. Еквівалентна сила найбільш навантаженому шві $N=7279.5$ Н.

Умова міцності зварного з'єднання по металу шва:

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_f k_f l_w \gamma_c} = 81.25 \leq R_{wf} = 180, \text{ Н / мм}^2; \quad (4.31)$$

Умова міцності металу шва виконується.

Умова міцності зварного з'єднання по металу межі сплавлення:

$$\frac{N\gamma_n}{\beta_z k_f l_w \gamma_c} = 56.87 \leq R_{wz} = 158.4, \text{ Н / мм}^2; \quad (4.32)$$

Умова міцності металу межі сплавлення виконується.

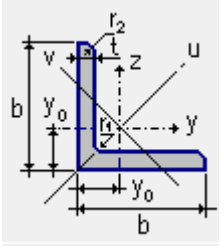
Результати оцінки граничної сейсмостійкості представлені у таблиці 4.7.

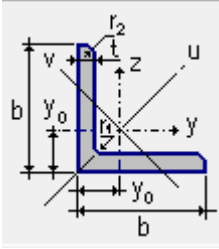
Таблиця 4.7 – Результати оцінки граничної сейсмостійкості зварних з'єднань опори.

σ _{нуз} , МПа	σ _{мрз} , МПа	Розрахунковий опір R_{wf} , МПа	Розрахунковий опір R_{wz} , МПа	Коефіцієнт сейсмічного запасу, FS	F _μ	HCLPF , g
за умовою міцності зі зрізу металу шва						
69.37	12.58	180	—	8.80	1	1.50
за умовою міцності по металу межі сплавлення						
48.56	8.80	—	158.4	12.48	1	2.12

Перевірка міцності та стійкості металоконструкцій опорного елемента на відповідність вимогам норм [17] представлена у таблиці 4.9.

Таблиця 4.8 – Перевірка міцності та стійкості металоконструкцій опорного елемента на відповідність вимогам ДБН В.2.6-198:2014

Критерій міцності/стійкості згідно [Error! Reference source not found.]	Умова виконання критерію міцності/стійкості	
Міцність при розтягуванні/стисканні (п. 8.1.1 [Error! Reference source not found.])	$\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \leq 1$	0.0255
Стійкість при стисканні в пл. XOY (п. 8.1.3 [Error! Reference source not found.])	$\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1$	0.0002
Стійкість при стисканні в пл. XOZ (п. 8.1.3 [Error! Reference source not found.])	$\frac{N\gamma_n}{\varphi A R_y \gamma_c} \leq 1$	0.0010

Критерій міцності/стійкості згідно [Error! Reference source not found.]	Умова виконання критерію міцності/стійкості	
Міцність при вигині в пл. XOY (п. 9.2.1 [Error! Reference source not found.])	$\frac{M\gamma_n}{M_{n,min}R_y\gamma_c} \leq 1$	0.0311
Міцність при вигині в пл. XOZ (п. 9.2.1 [Error! Reference source not found.])	$\frac{M\gamma_n}{M_{n,min}R_y\gamma_c} \leq 1$	0.0221
Міцність під дією поперечної сили Qy (п. 9.2.1 [Error! Reference source not found.])	$\frac{QS_x\gamma_n}{l_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1$	0.0020
Міцність під дією поперечної сили Qz (п. 9.2.1 [Error! Reference source not found.])	$\frac{QS_x\gamma_n}{l_x t_w R_s \gamma_c} \leq 1$	0.0032
Міцність при стисканні та згинанні (п. 10.1 [Error! Reference source not found.])	$\left(\frac{N\gamma_n}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x \gamma_n}{c_x W_{xn,min} R_y \gamma_c} + \frac{M_y \gamma_n}{c_y W_{yn,min} R_y \gamma_c} \leq 1$	0.0852

Таблиця 4.9 Результати підвищення кваліфікації обладнання

N	ПОЗИЦІЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Тип обладнання	Позначка	Поточний стан за результатами підвищення кваліфікації	HCLPF
10	5QG11B01	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
11	5QG11B02	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
12	5QG11B03	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42

N	ПОЗИЦІЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Тип обладнання	Позначка	Поточний стан за результатами підвищення кваліфікації	HCLPF
13	5QG11B04	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
14	5QG11B05	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
15	5QG11B06	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
16	5QG11B07	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
17	5QG11B08	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
18	5QG11B09	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
19	5QG11B10	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
20	5QG12B01	Балон пускового повітря	23-220-003	-7,1	КУ	0,42
21	5QG21B01	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
22	5QG21B02	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
23	5QG21B03	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
24	5QG21B04	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
25	5QG21B05	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
26	5QG21B06	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
27	5QG21B07	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42

N	ПОЗИЦІЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Тип обладнання	Позначка	Поточний стан за результатами підвищення кваліфікації	HCLPF
28	5QG21B08	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
29	5QG21B09	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
30	5QG21B10	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
31	5QG22B01	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
32	5QG31B01	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
33	5QG31B02	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
34	5QG31B03	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
35	5QG31B04	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
36	5QG31B05	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
37	5QG31B06	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
38	5QG31B07	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
39	5QG31B08	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
40	5QG31B09	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42
41	5QG31B10	Балон пускового повітря	23-220-003	0	КУ	0,42

4.8 Висновки що до розрахунків.

В розділі 4 ми проводимо розрахунки за методом який описаний в розділі 2. Підсумовуючи розрахунки, можна зробити висновок про те, що система пускового повітря РДЕС має достатню сейсмостійкість для експлуатації в умовах підвищеної сейсмічності. Отримані результати проведених розрахунків підтвердили сейсмостійкість металоконструкцій так як наступні умови були задоволені:

- 1) величина граничної сейсмостійкості $HCLPF > PGA$;
- 2) максимальні значення еквівалентних напруг у всіх вузлах та елементах не перевищують значення розрахункового опору (критерій міцності $(\sigma_s)_2 < R_0$);
- 3) відповідно до **[Error! Reference source not found.]** виконуються такі умови:
 - виконуються критерії міцності та стійкості конструктивних елементів металоконструкції;
 - виконуються умови міцності та сейсмостійкості зварних та болтових з'єднань.

Застосування методології Gір-BBER дозволило провести комплексний аналіз системи та визначити необхідні параметри для забезпечення її безпеки в умовах землетрусів.

Процес розрахунку включав у себе визначення основних параметрів системи, врахування дії сейсмічних навантажень, обчислення динамічних відповідей та визначення коефіцієнтів запасу стійкості. Результати показали, що всі необхідні параметри відповідають нормативним вимогам, що дозволяє з упевненістю стверджувати про безпеку експлуатації системи пускового повітря РДЕС в умовах підвищеної сейсмічності.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

На підприємствах енергетики і особливо на АЕС, яка відноситься до об'єктів підвищеної небезпеки, виконання всіх норм і вимог діючих нормативних документів у сфері охорони праці є обов'язковою вимогою, так як це дозволяє значно зменшити рівень травматизму та професійних захворювань на виробництві, а також дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення пожеж, вибухів та аварій при будівництві, монтажі, налагодженні та експлуатації енергоблоків.

Отже, охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Діюча на АЕС система управління охороною праці (СУОП) на АЕС повинна забезпечити не тільки жорсткий контроль за дотриманням існуючих нормативно-правових актів у цій сфері, а і забезпечити усі необхідні організаційно-технічні, соціально-економічні, лікувально-профілактичні та санітарно-гігієнічні заходи щодо створення комфортних та безпечних для життя та здоров'я працівників АЕС умов праці та їх безпеку у разі виникнення надзвичайних ситуацій. Саме це і є основними завданнями охорони праці на АЕС. Іншими словами дана система повинна забезпечити такий стан умов праці, при яких дія на робочих місцях небезпечних і шкідливих чинників (фізичних, хімічних, біологічних, психологічних) анулюється повністю або при неможливості реалізації цієї концепції обмежується можливими негативними наслідками і утворюється із законів і документів, що організовують та регулюють питання з охорони праці.

З метою забезпечення виконання діючих вимог з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, у цьому розділі магістерської дисертації запропоновані

відповідні технічні рішення та організаційні заходи щодо забезпечення радіаційної безпеки на АЕС та діючих вимог з електробезпеки, а також визначенні основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи з радіаційної безпеки на АЕС

Для виключення невинуватеного опромінення персоналу при виконанні робіт в умовах фактичної або можливої радіаційної небезпеки необхідно виконувати наступні технічні рішення та організаційні заходи [31]:

- а) призначення працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- б) оформлення робіт нарядом (наряд-допуском) або розпорядженням наданого до них дозиметричним нарядом;
- в) визначення радіаційної обстановки на робочому місці;
- г) підготовка робочого місця і допуск до роботи;
- д) нагляд під час виконання роботи;
- е) переведення на інше робоче місце;
- ж) оформлення перерв в роботі;
- з) оформлення закінчення роботи.

Захист від випромінювання реактора, основного технологічного контуру та інших джерел випромінювання на АЕС забезпечує зниження щільності потоку нейтронів і випромінювання до значень, що забезпечують в приміщеннях АЕС потужність еквівалентної дози, регламентовану НРБУ-97 [32] та санітарними правилами проектування і експлуатації АЕС СП-АС-88[33].

Компонування АЕС виконане наступним чином:

– системи, устаткування і трубопроводи з високопотенційним (робочий тиск до 16 МПа і робоча температура до 350 °С) радіоактивним т/н 1-го контуру (РУ в складі: реактор, ПГ, ГЦН, КТ, гідроємності, трубопроводи, система організованих протікань I

–го контуру та інше) розміщені в захисній герметичній оболонці, що є циліндром з внутрішнім діаметром 45м з куполоподібним верхом;

– компонування вищезгаданих систем, устаткування і трубопроводів виконане, виходячи з принципу розміщення їх у боксах. Будівельні конструкції боксів забезпечують біологічний захист обслуговуючого персоналу при проведенні операцій по перевантаженню палива і при проведенні ремонту устаткування, розташованого поза боксами, і яке в процесі усієї роботи не стикається з радіоактивним т/н;

– устаткування, що потребує ремонту і контролю (ПГ, КТ і так далі), розташоване так, що до нього забезпечений доступ і для операцій з ним не доводиться демонтувати інше устаткування або частину захисту;

– обслуговуючі пульти управління устаткуванням, пристроями винесені за межі гермозони і знаходяться на БЩУ.

Вищезазначене компонування відповідає вимогам СП-АС-88 [33] , дозволяє зменшити дозові витрати персоналу на її обслуговування і скоротити витрати на спорудження захисту на АЕС.

Відповідно до НП 306.2.141-2008 [34] питома активність водного теплоносія реакторного контуру не повинна перевищувати $3,7 \times 10^6$ Бк/кг, а активність води парогенераторного контуру – 3,7 Бк/кг.

Контроль пошкодження ТВЕЛ згідно з ПБЯ РУ АС-2008 проводиться для запобігання попадання в теплоносій продуктів ділення, а також запобігання подальшого їх поширення по контуру циркуляції АЕС і включає в себе наступні умови:

1. Експлуатаційна межа долі прореагованого цирконію – не більше 1% від його маси в оболонці ТВЕЛ.

2. Межа безпечної експлуатації по кількості і величині дефектів типу газової нещільності оболонки не повинна перевищувати 1 % ТВЕЛів і 0,1 % ТВЕЛів при прямому контакті ядерного палива з теплоносієм.

3. Температура зовнішньої оболонки ТВЕЛів не більше 450 °С.

4. Локальна глибина окислення оболонок ТВЕЛів не більше 18 % від початкової товщини стінки.

Важливою складовою радіаційної безпеки є радіаційний контроль.

Радіаційний контроль - це система заходів, що мають на меті виявлення та контроль рівня радіоактивного забруднення в навколишньому середовищі. В рамках заходів з радіаційного контролю на АЕС проводяться моніторинг та вимірювання рівня радіаційної активності повітря, води, ґрунту, будівельних конструкцій та обладнання.

Для проведення радіаційного контролю використовуються різні методи та прилади. Один з найпоширеніших приладів для вимірювання радіоактивності - це дозиметр. Він дозволяє вимірювати рівень дози опромінення в конкретній точці та за даним часовим проміжком.

Для забезпечення ефективного контролю рівня радіоактивного забруднення, на АЕС використовуються автоматичні системи контролю. Вони дозволяють здійснювати постійний моніторинг рівня радіаційної активності та оперативно реагувати на будь-які відхилення від допустимих норм.

У разі виявлення викидів радіоактивних речовин або забруднення території проводяться заходи з деконтамінації та виведення радіоактивного забруднення. Результати радіаційного контролю публікуються відкрито та доступні для ознайомлення всіх зацікавлених осіб.

Радіаційний контроль на АЕС виконується за такими основними напрямками:

– контроль захисних бар'єрів на шляху розповсюдження радіонуклідів;

- технологічний контроль середовищ експлуатації обладнання;
- дозиметричний контроль;
- контроль навколишнього середовища;
- контроль за нерозповсюдженням радіоактивних забруднень.

Радіаційна безпека атомних станцій вважається достатньою, якщо технічними засобами та організаційними заходами забезпечується не перевищення встановлених НРБУ-97 основних меж доз опромінення персоналу, населення та дотримання вимог цих правил [32].

Здійснення радіаційної безпеки АЕС має реалізуватися проведенням комплексу спеціальних заходів з радіаційного контролю за всіма показниками, а також заходів із ліквідації причин наслідків порушення встановлених норм.

Система радіаційного контролю складається з наступних підсистем:

- радіаційного контролю оточуючого середовища (РКОС);
- річної дози на місцевості;
- густини радіонуклідів в об'єктах оточуючого середовища;
- величини активності і нуклідного складу в викидах в технічні водойми;
- забруднення персоналу на виході з станції і метеорологічних параметрів атмосфери;
- забруднення всіх видів транспортних засобів та вантажів, що транспортуються, покидають межі площадки станції.

Для втілення поставлених завдань використовується централізована інформаційно-вимірювальна система радіаційного контролю.

Головним завданням індивідуального дозиметричного контролю персоналу є визначення сумарного впливу на персонал всіх факторів радіаційного впливу з метою недопущення опромінення персоналу дозами, що перевищують гранично допустимі дози. Цей вид контролю проводиться з використанням індивідуальних дозиметрів: оперативних, кварталних, аварійних (РК-02, ДРГЗ-03, ДН-А-1).

Зміст і обсяг цих заходів повинні приводитися в проекті і в експлуатаційній документації кожної АС.

5.1.2 Біологічний захист

Система фізичних бар'єрів блоку АЕС включає паливну матрицю, оболонку твела, кордон першого контуру, герметичне огороження реакторної установки та біологічний захист.

Проектом передбачена система додаткових технологічних бар'єрів, які здійснюють локалізацію радіоактивних продуктів, які проникли з яких-небудь причин через бар'єри. Для цієї мети служать системи другого технологічного контуру, теплообмінного обладнання на допоміжних системах реакторної установки і установок водоочищення. Ці ж функції виконують конструкції герметичних приміщень в обстройці реакторного відділення і в спецкорпусі.

Важливою функцією таких приміщень є ослаблення впливу на обслуговуючий персонал прямого проникаючого випромінювання від радіоактивних продуктів, що знаходяться в технологічних системах. Ефективність радіаційного захисту діючого обладнання досить висока, тому дози опромінення персоналу, який обслуговує це обладнання, незначні.

Особливе місце в системі захисних бар'єрів займають вентиляційні системи, що забезпечують повітрообмін в приміщеннях, де розташоване радіоактивне обладнання або проводяться роботи з розкриттям радіоактивного обладнання. Ці вентсистеми обладнані пристроями очищення повітря від радіоактивних домішок.

Крім технологічних шляхів поширення радіонуклідів з теплоносія I контуру в навколишнє середовище існує реальна небезпека виносу радіоактивних продуктів з виробничими відходами, а також на тілі або спецодязі персоналу, що виконує роботи з відкритими джерелами іонізуючого випромінювання [35].

Для запобігання подібної міграції радіонуклідів передбачені спеціальні санітарно-технічні бар'єри. Біологічний захист проектується так, щоб індивідуальна доза персоналу була менше гранично допустимої за нормами радіаційної безпеки НРБУ-97 [36].

Біологічний захист є важливою складовою системи безпеки на атомних електростанціях (АЕС). Одним із основних завдань біологічного захисту є забезпечення захисту персоналу від радіаційного впливу та запобігання поширенню радіоактивного забруднення в навколишнє середовище.

В залежності від типу АЕС, біологічний захист може включати наступні складові:

1. Захист від випадкової радіаційної експозиції. Це може включати захист від радіоактивного пилу та інших радіоактивних матеріалів, що можуть випадково випадати в приміщеннях.
2. Захист від ураження відкритою джерелом радіації. Для цього використовуються протипроменеві костюми та інші засоби захисту.
3. Захист від забруднення радіоактивними речовинами. Для цього використовуються системи забезпечення чистоти приміщень та пристроїв.
4. Захист від випадкового забруднення персоналу. Це може включати заходи, які допомагають зменшити кількість радіоактивних речовин, які потрапляють на одяг та обладнання персоналу.

Біологічний захист на АЕС є дуже важливим для забезпечення безпеки персоналу та населення. Для досягнення максимального ефекту, необхідно дотримуватись правил безпеки та стандартів, а також регулярно перевіряти та підтримувати системи біологічного захисту в робочому стані.

5.2 Електробезпека на АЕС

Електробезпека - це система заходів, спрямованих на запобігання травматизму та пожеж, що пов'язані з використанням електроенергії. На АЕС електробезпека є однією з найважливіших складових безпеки, оскільки робота АЕС пов'язана зі значними електричними навантаженнями, а також потенційно небезпечними взаємодіями електричних і механічних систем.

Для забезпечення електробезпеки на АЕС застосовуються різноманітні заходи, серед яких можна виділити:

1. Правильне проектування та монтаж електрообладнання з використанням високоякісних матеріалів та компонентів, що відповідають всім стандартам та нормативам.
2. Регулярні перевірки та діагностика електрообладнання з метою виявлення можливих несправностей та усунення їх перед тим, як вони можуть призвести до небезпечних ситуацій.
3. Заходи з експлуатації електрообладнання, що передбачають правильне використання, обслуговування та ремонт.
4. Використання систем автоматичного відключення електроенергії в разі виникнення аварійних ситуацій або перевищення допустимих норм.
5. Підготовка персоналу, який працює з електрообладнанням, до виконання робіт з електричної безпеки та проведення регулярних тренувань та перевірок з цієї тематики.

6. Використання персонального захисту (зокрема, ізоляційного взуття, рукавиць, шоломів тощо) для зменшення ризику електротравм та інших нещасних випадків.

5.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях регламентується планом локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (пожеж, вибухів, радіаційного забруднення тощо). Одними з основних складових плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС) є розробка технічних рішень та організаційних заходів що до оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

5.3.1 Обов'язки та дії персоналу АЕС у разі виникнення НС

У разі виникнення НС працівники зобов'язані виконувати всі вказівки керівництва підприємства.

У випадку виникнення НС кожний працівник мусить:

- припинити роботу (якщо це дозволено технологічним процесом виробництва);
- як найшвидше сповістити про НС керівника та відповідальну посадову особу;
- приступити до ліквідації (локалізації) НС наявними засобами;
- за необхідності викликати підрозділи ДСНС.

Керівництво підприємства, а також особи, відповідальні за цивільний захист (цивільну оборону) та техногенну безпеку, протипожежну безпеку, охорону праці, зобов'язані в разі виникнення НС:

- перевірити та продублювати повідомлення про НС, довести це до відома керівника підприємства;
- оцінити умови, з'ясувати кількість і місцезнаходження людей, за потреби вжити заходів щодо оповіщення працівників, населення про НС;
- під час загрози для життя людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;

- забезпечити виведення з небезпечної зони людей, які не беруть безпосередньої участі в ліквідації НС;

- обмежити допуск людей та транспортних засобів до небезпечної зони.

У разі дій щодо локалізації (ліквідації) наслідків НС потрібно:

- організувати оповіщення й зустріч підрозділів ДСНС та інших служб, забезпечити узгодженість дій персоналу підприємства й підрозділів аварійно-рятувальної, медичної та інших служб;

- у випадку необхідності евакуації персоналу (частини персоналу) та матеріальних цінностей забезпечити необхідну кількість транспортних засобів.

Евакуація має забезпечити захист працюючого персоналу в разі неможливості вжиття інших заходів цивільного захисту під час виникнення надзвичайних ситуацій. Рішення про евакуацію приймається керівником підприємства або особою, яка його заміщує. Підставою для прийняття рішення про практичне здійснення евакуаційних заходів є фактичні показники стану довкілля у випадку надзвичайної ситуації та відповідне рішення Кабінету Міністрів України, органів місцевої державної влади, територіальних органів ДСНС.

У разі евакуації на керівника підприємства покладається:

- планування й проведення евакуації працівників;
- контроль за плануванням, підготовкою й проведенням евакуаційних заходів;
- визначення та підготовка безпечного району для розміщення евакуйованих працівників.

5.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу при НС

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях пропонується встановлення

системи оповіщення виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009 [37].

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- а) поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- б) трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- в) трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- г) ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- д) ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- е) дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 [38] необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів – обладнуються всі виробничі приміщення.

Система оповіщення повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС, не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- а) у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- б) у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи системи оповіщення від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи системи оповіщення від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

5.3.3. Пожежна безпека на АЕС

Забезпечення пожежної безпеки є складовою частиною виробничої діяльності всіх працівників АЕС і контролюється керівниками і уповноваженими ними особами.

Забезпечення пожежної безпеки атомних електростанцій повинно проводитися у відповідності з Законом України «Про пожежну безпеку», «Правилами пожежної безпеки в Україні», «Правилами пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах і в організаціях енергетичної галузі України» та іншими державними і галузевими нормативними актами, що регламентують окремі питання пожежної безпеки. Експлуатація обладнання, приміщень і будівель повинні відповідати вимогам нормативних документів: ВБН В.1.1-034-2003, НАПБ 03.005-2002, ГНД 34.03.307-2004, ДБН В.2.5-56-2014, ДБН В.1.2-7-2008.

Будівлі, споруди і територія АЕС повинні бути обладнані мережами протипожежного водопостачання, установками гасіння пожежі у відповідності з вимогами НД. Території АЕС, а також будівлі, споруди, приміщення повинні бути

забезпечені відповідними знаками безпеки згідно діючих НД.

На кожній АЕС, з урахуванням пожежної небезпеки, наказом повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, а також складені інструкції по пожежній безпеці (ПБ):

- а) загальнооб'єктна;
- б) для окремих цехів, ділянок, лабораторій, приміщень і т.д.;
- в) експлуатації систем водопостачання, установок виявлення і гасіння пожежі;
- г) проведенню пожежонебезпечних видів робіт, експлуатації технологічних установок, обладнання і т.д.

Інструкції повинні розроблятися на основі діючих правил, викладених в ВБН В.1.1-034-2003 «Протипожежні норми проектування АЕС з водо-водяними реакторами» [38]. Виходячи зі специфіки пожежної небезпеки будівель, споруд, технологічних процесів, технологічного і виробничого обладнання, також повинен бути складений оперативний план пожежогасіння, який розробляється разом спеціалістами пожежної охорони ДСНС і АЕС. Всі вищевказані документи повинні затверджуватися у встановленому НД порядку.

Працівники АЕС повинні проходити протипожежний інструктаж, покращувати знання по пожежній безпеці, регулярно приймати участь в протипожежних тренуваннях і проходити періодичну перевірку знань ППБ у відповідності з вимогами діючих НД по підготовці персоналу.

У системи РДЕС є автоматична пожежна сигналізація у всіх приміщеннях РДЕС. У разі пожежі передбачено автоматичне вимкнення вентустановок відповідних приміщень та включення автоматичного пожежогасіння в технологічному підвалі кімнатки 1, де встановлені насоси підкачування палива.

Кабелі пожежної сигналізації прийняті мідними, що розповсюджують горіння, та прокладені у водогазопровідних трубах.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання дипломної роботи було проведено розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС з використанням методології GIP-BBER.

Були вивчені основні принципи дії системи пускового повітря РДЕС, а також розглянуті заходи забезпечення радіаційної безпеки на АЕС, включаючи біологічний захист, дезактивацію обладнання та приміщень, зниження рівня радіоактивності теплоносія першого контуру, радіаційний контроль та електробезпеку.

У процесі розрахунку на сейсмостійкість було використано стандартні формули та методи, що використовуються в методології GIP-BBER. Результати розрахунку показали, що система пускового повітря РДЕС є достатньо сейсмостійкою та відповідає вимогам стандартів безпеки на АЕС.

В результаті виконання дипломної роботи було отримано знання та практичні навички в використанні методології GIP-BBER, зокрема в розрахунку на сейсмостійкість систем та споруд. Крім того, було отримано розуміння процесу забезпечення радіаційної безпеки на АЕС та заходів, що необхідно вживати для попередження аварійних ситуацій.

Отже, виконання дипломної роботи дало можливість поглибити знання в області сейсмостійкості та радіаційної безпеки на АЕС та отримати практичні навички, необхідні для роботи в даній галузі.

Наукова новизна дипломної роботи полягає в тому, що вона вивчає питання сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС, яка є важливою складовою системи

безпеки атомної електростанції. В дослідженні були використані сучасні підходи до аналізу впливу сейсмічних навантажень на об'єкти, зокрема, метод спрощеного спектра та програмне забезпечення для проведення розрахунків. Було проведено комплексний розрахунок на сейсмостійкість системи пускового повітря РДЕС з врахуванням впливу сейсмічних навантажень та ефекту взаємодії з іншими конструкціями АЕС. Отримані результати показали, що система пускового повітря РДЕС є достатньо сейсмостійкою та забезпечує надійну роботу під час землетрусу.

Також було проведено аналіз можливих заходів для підвищення сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС, зокрема застосування додаткових амортизаторів та зміна геометрії конструкції. Виконані розрахунки та аналіз дають можливість зробити висновок про те, що питання сейсмостійкості системи пускового повітря РДЕС є актуальним та потребує додаткового дослідження. Отримані результати можуть бути використані для покращення систем безпеки на атомних електростанціях та для розробки більш ефективних методів розрахунку сейсмостійкості об'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 НП 306.2.141-2008 "Загальні положення безпеки атомних станцій".
- 2 НП 306.2.210-2017. «Загальні вимоги до управління старінням елементів та конструкцій та довгострокової експлуатації енергоблоків атомних станцій»
- 3 НП 306.2.208-2016. «Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій».
- 4 ПМ-Д.0.03.476-18 «Програма робіт із кваліфікації обладнання енергоблоків АЕС ДП НАЕК «Енергоатом».
- 5 СОУ НАЕК 179:2019 «Кваліфікація обладнання енергоблоків АЕС ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» Загальні вимоги.
- 6 СОУ НАЕК 182:2019 «Кваліфікація обладнання, важливого для безпеки, на сейсмічні дії» Загальні вимоги.
- 7 123456.МР.ПМ.01-14 «Програма виконання робіт з кваліфікації обладнання енергоблоків №№1-6 ВП «Запорізька АЕС».
- 8 Технічне завдання надання послуг на тему: «Кваліфікація арматури та вимикаючих пристроїв енергоблоку №5 ВП «Запорізька АЕС» на сейсмічні дії».
- 9 МТ-Т.0.41.427-18 "Методика адаптації результатів обґрунтування сейсмостійкості обладнання, виконаної на інших енергоблоках АЕС".
- 10 МТ-Т.0.03.305-12 «Типова методика оцінки поточного стану кваліфікації обладнання енергоблоків АЕС».
- 11 05.МР.00.Пр.18-14 «Розгорнутий перелік обладнання енергоблока №5 ВП ЗАЕС, що підлягає кваліфікації».

12 75.111-00.03.02-12-17-ПР «Забезпечення сейсмостійкості елементів, систем та споруд, важливих для безпеки. Побудова комплексу поверхових акселерограм та спектрів відповіді для будівель та споруд енергоблоків №5 та №6. Книга2. Результати розрахунку поверхових спектрів відповіді будівлі РО-5, РО-6».

13 ГОСТ 30546.1-98 «Загальні вимоги до машин, приладів та інших технічних виробів та методи розрахунку їх складних конструкцій у частині сейсмостійкості».

14 181911.213.001.3T03 «Звіт про встановлення початкової кваліфікації на сейсмічні впливи ТМО РДЕС енергоблока №5 ВП ЗАЕС».

15 МТ-Т.0.03.326-13. Методика розрахункового аналізу сейсмостійкості елементів діючих АЕС у межах методу граничної сейсмостійкості.

16 ПНАЕ Г-7-002-86. Норми розрахунку на міцність обладнання та трубопроводів атомних енергетичних установок.

17 ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування, Київ, Мінрегіонбуд України, 2014.

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

19 ВТТ-87. Арматура для обладнання та трубопроводів атомних станцій. Загальні технічні вимоги.

20 05.00.МР.00.РІШ.1058-18 Рішення про продовження терміну експлуатації.

21 181911.213.002.3T01 Звіт за результатами оцінки поточного стану кваліфікації ТМО РДЕС енергоблока №5 ВП ЗАЕС на сейсмічні впливи.

22 DOE/EH-0545 .“Seismic Evaluation Procedure for Equipment in US Department of Energy Facilities.” US DOE [US Department of Energy]. Washington DC March 1997 року.

23 НП 306.2.141-2008 Общие положения безопасности атомных станций.

24 НП 306.2.02/1.004-98 Общие положения обеспечения безопасности при снятии с эксплуатации атомных электростанций и исследовательских ядерных реакторов.

- 25 НП 306.2.214-2017 Вимоги до періодичної переоцінки безпеки енергоблоків атомних станцій.
- 26 Технологічний регламент безпечної експлуатації енергоблоку №1 ПАЕС. РГ.1.3810.007.
- 27 Програма технічного обслуговування програмно-технічного комплексу системи аварійного та попереджувального захисту (ПТК АЗ-ПЗ) енергоблок № 1 ПМ.1.0011.0224.
- 28 НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».
- 29 Правила пожежної безпеки при експлуатації атомних станцій від 30.05.2007 №256: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1039-07#Text>.
- 30 Правила пожежної безпеки в Україні від 19.10.2004 р. № 126: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1410-04#Text>.
- 31 ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
- 32 Норми радіаційної безпеки України; доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення : затв. постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000 р. № 116. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0116488-00> (дата звернення: 24.03.2022).
- 33 НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 34 Kaltiaisenaho, T. and Leppänen, J. (2014) Analysing the Statistics of Group Constants Generated by Serpent 2 Monte Carlo Code. In proc. PHYSOR 2014, Kyoto, Japan, Sep. 28 - Oct. 3, 2014.
- 35 Запорізька АЕС. «Інструкція з радіаційної безпеки» 00.ВН.00.ИН.10-16, 2016р., 140ст.
- 36 НРБУ-97. Норми радіаційної безпеки України – К.: МОЗУ, 1997.
- 37 НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах».

38 ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 Групування ТМО РДЕС та метод підвищення кваліфікації

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
T-1	Балон пускового повітря, Балон повітря системи керування	5QG11B01 5QG11B02 5QG11B03 5QG11B04 5QG11B05 5QG11B06 5QG11B07 5QG11B08 5QG11B09 5QG11B10 5QG12B01 5QG21B01 5QG21B02 5QG21B03 5QG21B04 5QG21B05 5QG21B06 5QG21B07 5QG21B08 5QG21B09 5QG21B10	23- 220- 003	0	T & H E	п/с В-8739, Росія	РА

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип		Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
T-2	Бак видатковий	5QC11B01	V - 10 м 3 – 01 17 06 - Т М 22		4,8	T & H E	БАТ "Зірка", Санкт-Петербург	РА
T-3	Сітка обертова водоочисника	5QF11N01 5QF21N01 5QF31N01	T H - 15 00		0	T&HE	БАТ "Уралгідросталь", Пермь	РА
М-1	Клапан регулюючий (регулятор температури олиї)	5QE11S02	К Т Р-20 0		-3,6	FO V	Завод "Старорусприлад", Стара Русса	
		5QE21S02			0	FO V	Завод "Старорусприлад", Стара Русса	

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
		5QE31S02		0	FO V	Завод "Старор усприлад", Стара Русса	
		5QF12S11		0	FO V	БАТ "Зірка", Санкт- Петербур г	
		5QF22S11		0	FO V	Завод "Старор усхімма ш", Стара Русса	
		5QF32S11		0	FO V	Завод "Старор усхімма ш", Стара Русса	
М-2	Засувка запірна з ел.	5QF31S07	10 20 15 00 68 - 60 0- 02	-7,1	MO V, SOV	Югосла вія, Югосла вія	РА
		5QF31S09		-4	MO V, SOV	Югосла вія, Югосла вія	
		5QF31S010		-7,1	MO V, SOV	Югосла вія, Югосла вія	

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
		5QF31S011		-4	MOV, SOV	Югославія, Югославія	
		5QF11S09		-4,2	MOV, SOV	Югославія, Югославія	
М-3	Засувка запірна з ел.	5QF11S07	10 20 15 00 68 - 60 0- 02	-4,2	MOV, SOV	Югославія, Югославія	РА
		5QF21S07		-4,85	MOV, SOV	Югославія, Югославія	
		5QF21S09		-4,85	MOV, SOV	Югославія, Югославія	

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод-виробник	Метод підвищення кваліфікації.
М-4	Клапан регулюючий (регулятор тиску)	5QF12S03	І6 52 33 - 20 0	-7,1	FO V	Івано-Франківський арматурний завод, Івано-Франківськ	РА
		5QF12S07		-7,1	FO V	Івано-Франківський арматурний завод, Івано-Франківськ	
		5QF22S03		-4,2	FO V	Івано-Франківський арматурний завод, Івано-Франківськ	
		5QF22S07		-4,2	FO V	Івано-Франківський арматурний завод, Івано-Франківськ	

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
		5QF32S03		-4,2	FO V	Івано-Франківський арматурний завод, Івано-Франківськ	
		5QF32S07		-4,2	FO V	БАТ "Зірка", Санкт-Петербург	
М-5	Клапан запірний сильфонний із вбуд. ел.приводом	5QF34S01	A 10 82 1- 00 40 - 65 - 3 B	-4,0	M O V, SO V	Sigma, Чехія	РА
М-6	Клапан запірний сильфонний із вбуд. ел.приводом	5QF24S01	A 10 82 1- 00 40 - 65 - 3 B	-3,6	M O V, SO V	Sigma, Чехія	РА

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
М-7	Засувка клинова з вбуд. електроприводом	5QF11S11	А 00 12 3- 40 40 - 30 0- 3Б	-3,6	MOV, SOV	Sigma Орава, Опава	РА
		5QF21S11		-4,85	MOV, SOV	Sigma Орава, Опава	
		5QF11S10		-4,2	MOV, SOV	Sigma Орава, Опава	
		5QF21S10		-4,85	MOV, SOV	Sigma Орава, Опава	
М-8	Клапан запірний сильфонний із вбуд. ел.приводом	5QF11S01	А 10 82 3- 00 40 /2 00 - 10 0- 3Б	0	MOV, SOV	Sigma, Чехія	РА
		5QF14S01		-7,1	MOV, SOV	Sigma, Чехія	
М-9	Водяний насос гарячого резерву	5QE12D01	НЦВ-25	-4,2	MOV, SOV	БАТ "Лівнин асос", Лівни	РА

№ груп.	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Завод виробник	Метод підвищення кваліфікації.
		5QE22D01	/3 0- О М 5	-4,2	MOV, SOV	BAT "Лівний асос", Лівни	
		5QE32D01		-4,2	MOV, SOV	BAT "Лівний асос", Лівни	

Примітка:Результати оцінки сейсмостійкості баків 5QC11-31B01, 5QC12-32B01 представлені в звіті «Звіт. Розрахункове обґрунтування запасу сейсмостійкості обладнання з формуванням переліку компенсуючих заходів», погодженому з ДІЯРУ.

Таблиця А.2 ТМО РДЕС та метод підвищення кваліфікації КМ

№	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Метод кваліф	Зауваження
1.	Клапан запірний сильфонний із вбуд. ел.приводом	5QF11S01	A1082 3- 0040- 100- 3Б	0	MOV, SOV	КМ	Корозія металу опори та фланця

№	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Метод кваліф	Зауваження
2.	Клапан запірний сильфонний із вбуд. ел.приводом	5QF24S01	A1082 1- 0040/ 200- 65-3B	-3,6	MO V, SOV	КМ	Корозія металу
3.	Клапан запірний сильфонний із вбуд. ел.приводом	5QF31S01	ПТ26 273- 080- 01-2Б	-7,1	MO V, SOV	КМ	Корозія металу

Таблиця А.3 ТМО РДЕС та метод підвищення кваліфікації «заміна»

№	Найменування	Маркування	Тип	Позначка, м	GIP клас	Метод кваліфікації.	Зауваження
1	Насос технічної води відповідальних споживачів	5QF11D01	Д 4000-95	-7,1	НР	3	Виготовлений з матеріалу (СЧ20)
2	Насос технічної води відповідальних споживачів	5QF11D02	Д 4000-95	-7,1	НР	3	Виготовлений з матеріалу (СЧ20)

ДОДАТОК Б

На рисунках Б.1 – Б.3 показані результати розрахунку своїх частот коливань по осях x, y та z.

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION							CUMULATIVE	RATIO EFF.MASS
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	MASS FRACTION	TO TOTAL MASS	
1	0.143493	6.9690	0.32627E-06	0.000001	0.106449E-12	0.171989E-12	0.161941E-12	
2	0.826666	1.2097	-0.35550E-01	0.060974	0.126382E-02	0.204193E-02	0.192264E-02	
3	0.850123	1.1763	-0.25946E-04	0.000045	0.673218E-09	0.204194E-02	0.102416E-08	
4	2.49575	0.40068	0.10260	0.175976	0.105269E-01	0.190502E-01	0.160146E-01	
5	2.50086	0.39986	0.10190E-03	0.000175	0.103841E-07	0.190502E-01	0.157973E-07	
6	2.82215	0.35434	0.58160E-05	0.000010	0.338258E-10	0.190502E-01	0.514590E-10	
7	7.60852	0.13143	0.47049	0.806961	0.221361	0.376701	0.336755	
8	8.22062	0.12165	0.58304	1.000000	0.339935	0.925930	0.517141	
9	15.9216	0.62808E-01	-0.30561E-01	0.052417	0.933968E-03	0.927439	0.142084E-02	
10	17.2453	0.57987E-01	-0.70553E-02	0.012101	0.497770E-04	0.927519	0.757255E-04	
11	32.8518	0.30440E-01	0.10929	0.187442	0.119434E-01	0.946816	0.181695E-01	
12	34.6585	0.28853E-01	0.11076	0.189974	0.122682E-01	0.966638	0.186636E-01	
13	38.6223	0.25892E-01	-0.49929E-06	0.000001	0.249290E-12	0.966638	0.379244E-12	
14	40.1789	0.24889E-01	0.83194E-06	0.000001	0.692120E-12	0.966638	0.105292E-11	
15	40.4919	0.24696E-01	0.32436E-01	0.055633	0.105213E-02	0.968338	0.160059E-02	
16	70.0369	0.14278E-01	-0.21164E-06	0.000000	0.447925E-13	0.968338	0.681426E-13	
17	74.0764	0.13500E-01	-0.89669E-07	0.000000	0.804061E-14	0.968338	0.122322E-13	
18	90.5898	0.11039E-01	-0.14271E-01	0.024476	0.203651E-03	0.968667	0.309813E-03	
19	97.5436	0.10252E-01	0.34126E-01	0.058531	0.116458E-02	0.970548	0.177167E-02	
20	99.1234	0.10088E-01	-0.24721E-01	0.042400	0.611113E-03	0.971536	0.929683E-03	
21	101.695	0.98333E-02	-0.26446E-01	0.045358	0.699373E-03	0.972666	0.106395E-02	
22	106.384	0.94000E-02	-0.39227E-04	0.000067	0.153875E-08	0.972666	0.234089E-08	
23	107.674	0.92873E-02	0.71475E-01	0.122590	0.510861E-02	0.980920	0.777170E-02	
24	109.332	0.91465E-02	-0.16126E-06	0.000000	0.260042E-13	0.980920	0.395600E-13	
25	120.215	0.83184E-02	0.24141E-01	0.041406	0.582802E-03	0.981861	0.886615E-03	
26	121.004	0.82642E-02	0.34428E-01	0.059049	0.118527E-02	0.983776	0.180315E-02	
27	134.446	0.74379E-02	0.25612E-01	0.043928	0.655967E-03	0.984836	0.997920E-03	
28	146.263	0.68370E-02	-0.31832E-02	0.005460	0.101330E-04	0.984853	0.154153E-04	
29	169.399	0.59032E-02	0.90146E-05	0.000015	0.812637E-10	0.984853	0.123626E-09	
30	170.206	0.58752E-02	-0.32728E-01	0.056133	0.107110E-02	0.986583	0.162946E-02	
31	179.373	0.55750E-02	-0.22179E-06	0.000000	0.491906E-13	0.986583	0.748334E-13	
32	187.427	0.53354E-02	0.74972E-06	0.000001	0.562078E-12	0.986583	0.855087E-12	
33	189.006	0.52908E-02	-0.44250E-06	0.000001	0.195808E-12	0.986583	0.297881E-12	
34	198.201	0.50454E-02	-0.59407E-02	0.010189	0.352923E-04	0.986640	0.536900E-04	
35	201.826	0.49548E-02	-0.11263E-01	0.019317	0.126848E-03	0.986845	0.192973E-03	
36	213.937	0.46743E-02	-0.30773E-04	0.000053	0.946993E-09	0.986845	0.144066E-08	
37	216.444	0.46201E-02	-0.37640E-05	0.000006	0.141676E-10	0.986845	0.215532E-10	
38	217.011	0.46081E-02	0.43503E-05	0.000007	0.189253E-10	0.986845	0.287910E-10	
39	218.985	0.45665E-02	-0.13545E-05	0.000002	0.183474E-11	0.986845	0.279118E-11	
40	224.126	0.44618E-02	0.22620E-05	0.000004	0.511664E-11	0.986845	0.778393E-11	
41	224.137	0.44616E-02	0.23190E-02	0.003977	0.537787E-05	0.986854	0.818134E-05	
42	226.321	0.44185E-02	-0.27050E-05	0.000005	0.731722E-11	0.986854	0.111317E-10	
43	228.038	0.43852E-02	0.39815E-02	0.006829	0.158522E-04	0.986879	0.241158E-04	
44	230.404	0.43402E-02	0.81773E-06	0.000001	0.668690E-12	0.986879	0.101728E-11	
45	232.858	0.42945E-02	0.21603E-05	0.000004	0.466692E-11	0.986879	0.709976E-11	

55	260.609	0.38372E-02	-0.89380E-02	0.015330	0.798875E-04	0.987972	0.121533E-03
56	266.281	0.37554E-02	0.63254E-06	0.000001	0.400113E-12	0.987972	0.608690E-12
57	266.974	0.37457E-02	0.29170E-01	0.050032	0.850912E-03	0.989346	0.129449E-02
58	275.338	0.36319E-02	0.22037E-05	0.000004	0.485642E-11	0.989346	0.738805E-11
59	278.344	0.35927E-02	-0.23267E-01	0.039906	0.541349E-03	0.990221	0.823552E-03
60	280.758	0.35618E-02	-0.99366E-07	0.000000	0.987364E-14	0.990221	0.150207E-13
61	288.698	0.34638E-02	-0.32257E-01	0.055325	0.104050E-02	0.991902	0.158290E-02
62	293.650	0.34054E-02	0.12038E-01	0.020648	0.144923E-03	0.992136	0.220471E-03
63	296.488	0.33728E-02	0.45467E-07	0.000000	0.206729E-14	0.992136	0.314496E-14
64	296.921	0.33679E-02	0.21844E-01	0.037466	0.477175E-03	0.992907	0.725925E-03
65	299.648	0.33373E-02	-0.51176E-07	0.000000	0.261899E-14	0.992907	0.398425E-14
66	301.122	0.33209E-02	0.18008E-01	0.030886	0.324276E-03	0.993431	0.493320E-03
67	308.320	0.32434E-02	0.23998E-01	0.041160	0.575894E-03	0.994362	0.876106E-03
68	313.395	0.31909E-02	-0.18666E-03	0.000320	0.348419E-07	0.994362	0.530049E-07
69	315.143	0.31732E-02	-0.85389E-03	0.001465	0.729137E-06	0.994363	0.110923E-05
70	345.438	0.28949E-02	-0.18314E-01	0.031411	0.335390E-03	0.994905	0.510228E-03
71	352.864	0.28340E-02	0.59385E-03	0.001019	0.352659E-06	0.994905	0.536498E-06
72	353.893	0.28257E-02	-0.65799E-03	0.001129	0.432950E-06	0.994906	0.658646E-06
73	354.322	0.28223E-02	0.29225E-02	0.005013	0.854092E-05	0.994920	0.129933E-04
74	354.688	0.28194E-02	-0.30818E-02	0.005286	0.949729E-05	0.994935	0.144482E-04
75	354.950	0.28173E-02	0.10324E-01	0.017707	0.106582E-03	0.995107	0.162143E-03
76	355.401	0.28137E-02	0.15091E-01	0.025883	0.227727E-03	0.995475	0.346440E-03
77	355.559	0.28125E-02	0.40775E-02	0.006993	0.166257E-04	0.995502	0.252926E-04
78	355.672	0.28116E-02	0.52380E-02	0.008984	0.274364E-04	0.995547	0.417388E-04
79	355.727	0.28111E-02	0.58249E-02	0.009991	0.339296E-04	0.995601	0.516170E-04
80	356.220	0.28073E-02	0.62991E-02	0.010804	0.396789E-04	0.995666	0.603633E-04
81	382.322	0.26156E-02	0.34962E-01	0.059966	0.122237E-02	0.997640	0.185958E-02
82	384.106	0.26034E-02	0.12035E-05	0.000002	0.144842E-11	0.997640	0.220348E-11
83	385.283	0.25955E-02	0.10106E-01	0.017333	0.102131E-03	0.997806	0.155372E-03
84	401.255	0.24922E-02	0.17620E-04	0.000030	0.310464E-09	0.997806	0.472308E-09
85	407.026	0.24568E-02	-0.71024E-02	0.012182	0.504437E-04	0.997887	0.767398E-04
86	410.888	0.24338E-02	-0.29065E-07	0.000000	0.844789E-15	0.997887	0.128517E-14
87	427.142	0.23411E-02	-0.55606E-02	0.009537	0.309207E-04	0.997937	0.470395E-04
88	428.966	0.23312E-02	0.99032E-02	0.016986	0.980736E-04	0.998095	0.149199E-03
89	449.039	0.22270E-02	0.20269E-01	0.034764	0.410826E-03	0.998759	0.624988E-03
90	454.622	0.21996E-02	0.11142E-01	0.019111	0.124154E-03	0.998960	0.188875E-03
91	461.841	0.21652E-02	-0.19301E-02	0.003310	0.372510E-05	0.998966	0.566698E-05
92	463.463	0.21577E-02	0.25125E-02	0.004309	0.631283E-05	0.998976	0.960369E-05
93	466.667	0.21429E-02	0.28303E-02	0.004854	0.801059E-05	0.998989	0.121865E-04
94	475.798	0.21017E-02	-0.62562E-02	0.010730	0.391403E-04	0.999052	0.595439E-04
95	480.092	0.20829E-02	-0.14026E-01	0.024057	0.196728E-03	0.999370	0.299282E-03
96	490.517	0.20387E-02	0.71799E-02	0.012315	0.515506E-04	0.999453	0.784237E-04
97	496.987	0.20121E-02	-0.86712E-02	0.014872	0.751905E-04	0.999575	0.114387E-03
98	498.650	0.20054E-02	-0.16221E-01	0.027821	0.263118E-03	1.000000	0.400280E-03
99	501.660	0.19934E-02	-0.21810E-03	0.000374	0.475663E-07	1.000000	0.723624E-07
100	503.758	0.19851E-02	0.28225E-07	0.000000	0.796624E-15	1.000000	0.121190E-14
sum					0.618930		0.941576

Рисунок Б.1 – Результати розрахунку частот власних коливань щодо X

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.143493	6.9690	-0.13318E-05	0.000002	0.177364E-11	0.287452E-11	0.269823E-11
2	0.826666	1.2097	0.24787E-04	0.000042	0.614414E-09	0.998649E-09	0.934705E-09
3	0.850123	1.1763	-0.36213E-01	0.061642	0.131139E-02	0.212536E-02	0.199502E-02
4	2.49575	0.40068	-0.10224E-03	0.000174	0.104532E-07	0.212538E-02	0.159024E-07
5	2.50086	0.39986	0.10237	0.174251	0.104793E-01	0.191091E-01	0.159422E-01
6	2.82215	0.35434	-0.11554E-04	0.000020	0.133488E-09	0.191091E-01	0.203075E-09
7	7.60852	0.13143	0.58748	1.000000	0.345129	0.578457	0.525044
8	8.22062	0.12165	-0.46524	0.791921	0.216444	0.929246	0.329276
9	15.9216	0.62808E-01	0.42809E-01	0.072870	0.183265E-02	0.932216	0.278800E-02
10	17.2453	0.57987E-01	0.18331E-01	0.031203	0.336031E-03	0.932761	0.511202E-03
11	32.8518	0.30440E-01	0.99069E-01	0.168635	0.981472E-02	0.948667	0.149311E-01
12	34.6585	0.28853E-01	-0.11091	0.188797	0.123019E-01	0.968605	0.187149E-01
13	38.6223	0.25892E-01	-0.25316E-06	0.000000	0.640903E-13	0.968605	0.975003E-13
14	40.1789	0.24889E-01	-0.54939E-07	0.000000	0.301824E-14	0.968605	0.459164E-14
15	40.4919	0.24696E-01	0.22232E-01	0.037843	0.494263E-03	0.969406	0.751921E-03
16	70.0369	0.14278E-01	-0.31718E-06	0.000001	0.100605E-12	0.969406	0.153051E-12
17	74.0764	0.13500E-01	-0.83435E-07	0.000000	0.696138E-14	0.969406	0.105903E-13
18	90.5898	0.11039E-01	-0.20947E-01	0.035655	0.438762E-03	0.970117	0.667487E-03
19	97.5436	0.10252E-01	0.29297E-01	0.049869	0.858321E-03	0.971508	0.130576E-02
20	99.1234	0.10088E-01	0.57137E-01	0.097258	0.326460E-02	0.976799	0.496642E-02
21	101.695	0.98333E-02	0.33717E-01	0.057392	0.113681E-02	0.978641	0.172942E-02
22	106.384	0.94000E-02	-0.14994E-07	0.000000	0.224810E-15	0.978641	0.342002E-15
23	107.674	0.92873E-02	0.36125E-02	0.006149	0.130503E-04	0.978662	0.198534E-04
24	109.332	0.91465E-02	-0.13415E-04	0.000023	0.179954E-09	0.978662	0.273763E-09
25	120.215	0.83184E-02	-0.70186E-03	0.001195	0.492605E-06	0.978663	0.749397E-06
26	121.004	0.82642E-02	0.30558E-02	0.005202	0.933772E-05	0.978678	0.142054E-04
27	134.446	0.74379E-02	-0.15706E-01	0.026735	0.246692E-03	0.979078	0.375291E-03
28	146.263	0.68370E-02	0.12128E-01	0.020644	0.147085E-03	0.979317	0.223759E-03
29	169.399	0.59032E-02	0.24221E-06	0.000000	0.586650E-13	0.979317	0.892468E-13
30	170.206	0.58752E-02	0.70840E-01	0.120584	0.501834E-02	0.987450	0.763438E-02
31	179.373	0.55750E-02	0.11737E-04	0.000020	0.137767E-09	0.987450	0.209585E-09
32	187.427	0.53354E-02	0.54703E-06	0.000001	0.299246E-12	0.987450	0.455242E-12
33	189.006	0.52908E-02	-0.93693E-07	0.000000	0.877843E-14	0.987450	0.133546E-13
34	198.201	0.50454E-02	0.13522E-01	0.023017	0.182843E-03	0.987746	0.278159E-03
35	201.826	0.49548E-02	0.14235E-01	0.024230	0.202624E-03	0.988074	0.308250E-03
36	213.937	0.46743E-02	-0.12130E-07	0.000000	0.147126E-15	0.988074	0.223822E-15
37	216.444	0.46201E-02	0.65385E-06	0.000001	0.427523E-12	0.988074	0.650389E-12
38	217.011	0.46081E-02	-0.26872E-05	0.000005	0.722092E-11	0.988074	0.109852E-10
39	218.985	0.45665E-02	-0.16892E-04	0.000029	0.285355E-09	0.988074	0.434109E-09
40	224.126	0.44618E-02	0.68884E-06	0.000001	0.474494E-12	0.988074	0.721846E-12
41	224.137	0.44616E-02	-0.61656E-03	0.001050	0.380148E-06	0.988075	0.578317E-06
42	226.321	0.44185E-02	0.78182E-06	0.000001	0.611235E-12	0.988075	0.929870E-12
43	228.038	0.43852E-02	0.41640E-01	0.070880	0.173392E-02	0.990885	0.263780E-02
44	230.404	0.43402E-02	0.12389E-05	0.000002	0.153490E-11	0.990885	0.233504E-11
45	232.858	0.42945E-02	-0.12521E-04	0.000021	0.156774E-09	0.990885	0.238500E-09

55	260.609	0.38372E-02	0.12627E-01	0.021493	0.159433E-03	0.992904	0.242544E-03
56	266.281	0.37554E-02	-0.10883E-04	0.000019	0.118442E-09	0.992904	0.180185E-09
57	266.974	0.37457E-02	0.28190E-01	0.047984	0.794651E-03	0.994192	0.120890E-02
58	275.338	0.36319E-02	0.11351E-05	0.000002	0.128837E-11	0.994192	0.196000E-11
59	278.344	0.35927E-02	-0.11187E-01	0.019043	0.125158E-03	0.994395	0.190403E-03
60	280.758	0.35618E-02	-0.15596E-05	0.000003	0.243246E-11	0.994395	0.370050E-11
61	288.698	0.34638E-02	0.56689E-02	0.009650	0.321361E-04	0.994447	0.488885E-04
62	293.650	0.34054E-02	-0.21931E-01	0.037330	0.480958E-03	0.995226	0.731679E-03
63	296.488	0.33728E-02	0.32073E-06	0.000001	0.102870E-12	0.995226	0.156496E-12
64	296.921	0.33679E-02	0.23682E-01	0.040311	0.560822E-03	0.996135	0.853176E-03
65	299.648	0.33373E-02	0.50027E-06	0.000001	0.250273E-12	0.996135	0.380740E-12
66	301.122	0.33209E-02	-0.22547E-01	0.038379	0.508366E-03	0.996959	0.773375E-03
67	308.320	0.32434E-02	-0.10219E-01	0.017395	0.104428E-03	0.997128	0.158866E-03
68	313.395	0.31909E-02	0.24699E-03	0.000420	0.610053E-07	0.997128	0.928071E-07
69	315.143	0.31732E-02	0.43925E-02	0.007477	0.192938E-04	0.997160	0.293516E-04
70	345.438	0.28949E-02	-0.11282E-02	0.001920	0.127279E-05	0.997162	0.193630E-05
71	352.864	0.28340E-02	0.38655E-03	0.000658	0.149420E-06	0.997162	0.227311E-06
72	353.893	0.28257E-02	0.17674E-02	0.003009	0.312381E-05	0.997167	0.475224E-05
73	354.322	0.28223E-02	0.34012E-02	0.005789	0.115680E-04	0.997186	0.175983E-04
74	354.688	0.28194E-02	0.12665E-01	0.021558	0.160394E-03	0.997446	0.244006E-03
75	354.950	0.28173E-02	-0.22304E-02	0.003797	0.497450E-05	0.997454	0.756769E-05
76	355.401	0.28137E-02	0.43317E-02	0.007373	0.187640E-04	0.997484	0.285456E-04
77	355.559	0.28125E-02	-0.48945E-02	0.008331	0.239562E-04	0.997523	0.364445E-04
78	355.672	0.28116E-02	-0.97570E-02	0.016608	0.951999E-04	0.997677	0.144827E-03
79	355.727	0.28111E-02	-0.10342E-02	0.001760	0.106962E-05	0.997679	0.162720E-05
80	356.220	0.28073E-02	0.10676E-01	0.018172	0.113974E-03	0.997864	0.173388E-03
81	382.322	0.26156E-02	-0.68918E-04	0.000117	0.474976E-08	0.997864	0.722578E-08
82	384.106	0.26034E-02	0.49072E-07	0.000000	0.240805E-14	0.997864	0.366335E-14
83	385.283	0.25955E-02	-0.80445E-03	0.001369	0.647132E-06	0.997865	0.984479E-06
84	401.255	0.24922E-02	-0.97945E-03	0.001667	0.959314E-06	0.997866	0.145940E-05
85	407.026	0.24568E-02	-0.16314E-01	0.027769	0.266136E-03	0.998298	0.404871E-03
86	410.888	0.24338E-02	0.34445E-06	0.000001	0.118649E-12	0.998298	0.180500E-12
87	427.142	0.23411E-02	0.18553E-02	0.003158	0.344232E-05	0.998303	0.523679E-05
88	428.966	0.23312E-02	-0.86717E-02	0.014761	0.751990E-04	0.998425	0.114400E-03
89	449.039	0.22270E-02	-0.45751E-02	0.007788	0.209312E-04	0.998459	0.318426E-04
90	454.622	0.21996E-02	-0.49339E-02	0.008398	0.243434E-04	0.998499	0.370335E-04
91	461.841	0.21652E-02	0.25849E-02	0.004400	0.668150E-05	0.998509	0.101645E-04
92	463.463	0.21577E-02	-0.47262E-04	0.000080	0.223368E-08	0.998509	0.339808E-08
93	466.667	0.21429E-02	-0.59849E-02	0.010187	0.358193E-04	0.998567	0.544918E-04
94	475.798	0.21017E-02	0.12306E-01	0.020947	0.151433E-03	0.998813	0.230374E-03
95	480.092	0.20829E-02	-0.54532E-03	0.000928	0.297378E-06	0.998813	0.452399E-06
96	490.517	0.20387E-02	0.88342E-02	0.015038	0.780430E-04	0.998940	0.118726E-03
97	496.987	0.20121E-02	0.12287E-01	0.020914	0.150960E-03	0.999184	0.229655E-03
98	498.650	0.20054E-02	-0.21821E-01	0.037144	0.476166E-03	0.999956	0.724390E-03
99	501.660	0.19934E-02	-0.51983E-02	0.008848	0.270218E-04	1.000000	0.411082E-04
100	503.758	0.19851E-02	-0.20679E-07	0.000000	0.427628E-15	1.000000	0.650549E-15
sum					0.617021		0.938672

Рисунок Б.2 – Результати розрахунку частот власних коливань щодо Y

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Z DIRECTION

MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	0.143493	6.9690	0.10859	0.143789	0.117907E-01	0.196840E-01	0.179372E-01
2	0.826666	1.2097	0.11214E-05	0.000001	0.125752E-11	0.196840E-01	0.191306E-11
3	0.850123	1.1763	-0.45029E-05	0.000006	0.202764E-10	0.196840E-01	0.308464E-10
4	2.49575	0.40068	0.42298E-07	0.000000	0.178912E-14	0.196840E-01	0.272177E-14
5	2.50086	0.39986	-0.18050E-06	0.000000	0.325789E-13	0.196840E-01	0.495622E-13
6	2.82215	0.35434	0.0000	0.000000	0.00000	0.196840E-01	0.00000
7	7.60852	0.13143	-0.95213E-03	0.001261	0.906552E-06	0.196855E-01	0.137913E-05
8	8.22062	0.12165	-0.20512E-04	0.000027	0.420759E-09	0.196855E-01	0.640099E-09
9	15.9216	0.62808E-01	0.32011E-02	0.004239	0.102469E-04	0.197026E-01	0.155886E-04
10	17.2453	0.57987E-01	0.30176E-02	0.003996	0.910569E-05	0.197178E-01	0.138524E-04
11	32.8518	0.30440E-01	-0.83269E-03	0.001103	0.693369E-06	0.197190E-01	0.105482E-05
12	34.6585	0.28853E-01	0.13187E-02	0.001746	0.173900E-05	0.197219E-01	0.264554E-05
13	38.6223	0.25892E-01	0.11973E-06	0.000000	0.143349E-13	0.197219E-01	0.218076E-13
14	40.1789	0.24889E-01	0.0000	0.000000	0.00000	0.197219E-01	0.00000
15	40.4919	0.24696E-01	0.30432E-01	0.040298	0.926092E-03	0.212680E-01	0.140886E-02
16	70.0369	0.14278E-01	0.42634E-06	0.000001	0.181763E-12	0.212680E-01	0.276515E-12
17	74.0764	0.13500E-01	0.0000	0.000000	0.00000	0.212680E-01	0.00000
18	90.5898	0.11039E-01	0.12421E-01	0.016448	0.154276E-03	0.215255E-01	0.234699E-03
19	97.5436	0.10252E-01	-0.14333E-01	0.018980	0.205449E-03	0.218685E-01	0.312549E-03
20	99.1234	0.10088E-01	0.14461E-02	0.001915	0.209125E-05	0.218720E-01	0.318142E-05
21	101.695	0.98333E-02	0.63865E-03	0.000846	0.407880E-06	0.218727E-01	0.620506E-06
22	106.384	0.94000E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.218727E-01	0.00000
23	107.674	0.92873E-02	0.16151E-01	0.021387	0.260857E-03	0.223082E-01	0.396841E-03
24	109.332	0.91465E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.223082E-01	0.00000
25	120.215	0.83184E-02	-0.28595E-02	0.003786	0.817651E-05	0.223218E-01	0.124389E-04
26	121.004	0.82642E-02	0.15715E-01	0.020809	0.246954E-03	0.227341E-01	0.375690E-03
27	134.446	0.74379E-02	0.19109E-01	0.025304	0.365156E-03	0.233437E-01	0.555510E-03
28	146.263	0.68370E-02	-0.75517	1.000000	0.570286	0.975405	0.867574
29	169.399	0.59032E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.975405	0.00000
30	170.206	0.58752E-02	0.10839	0.143524	0.117473E-01	0.995017	0.178712E-01
31	179.373	0.55750E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995017	0.00000
32	187.427	0.53354E-02	0.22147E-07	0.000000	0.490493E-15	0.995017	0.746186E-15
33	189.006	0.52908E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995017	0.00000
34	198.201	0.50454E-02	0.12714E-01	0.016836	0.161640E-03	0.995286	0.245902E-03
35	201.826	0.49548E-02	-0.30955E-03	0.000410	0.958228E-07	0.995287	0.145775E-06
36	213.937	0.46743E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995287	0.00000
37	216.444	0.46201E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995287	0.00000
38	217.011	0.46081E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995287	0.00000
39	218.985	0.45665E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995287	0.00000
40	224.126	0.44618E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995287	0.00000
41	224.137	0.44616E-02	-0.20636E-01	0.027326	0.425850E-03	0.995998	0.647844E-03
42	226.321	0.44185E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.995998	0.00000
43	228.038	0.43852E-02	0.16113E-01	0.021337	0.259637E-03	0.996431	0.394985E-03
44	230.404	0.43402E-02	-0.22214E-07	0.000000	0.493459E-15	0.996431	0.750697E-15
45	232.858	0.42945E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.996431	0.00000

55	260.609	0.38372E-02	0.10010E-01	0.013255	0.100199E-03	0.997724	0.152433E-03
56	266.281	0.37554E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.997724	0.00000
57	266.974	0.37457E-02	-0.80764E-02	0.010695	0.652277E-04	0.997832	0.992306E-04
58	275.338	0.36319E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.997832	0.00000
59	278.344	0.35927E-02	0.10060E-01	0.013321	0.101203E-03	0.998001	0.153960E-03
60	280.758	0.35618E-02	0.28613E-07	0.000000	0.818729E-15	0.998001	0.124553E-14
61	288.698	0.34638E-02	-0.54222E-02	0.007180	0.294000E-04	0.998050	0.447261E-04
62	293.650	0.34054E-02	-0.17577E-03	0.000233	0.308945E-07	0.998051	0.469997E-07
63	296.488	0.33728E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.998051	0.00000
64	296.921	0.33679E-02	0.53714E-03	0.000711	0.288521E-06	0.998051	0.438926E-06
65	299.648	0.33373E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.998051	0.00000
66	301.122	0.33209E-02	-0.47141E-03	0.000624	0.222228E-06	0.998051	0.338074E-06
67	308.320	0.32434E-02	-0.45322E-03	0.000600	0.205406E-06	0.998052	0.312484E-06
68	313.395	0.31909E-02	0.37765E-04	0.000050	0.142620E-08	0.998052	0.216967E-08
69	315.143	0.31732E-02	-0.10977E-02	0.001454	0.120504E-05	0.998054	0.183322E-05
70	345.438	0.28949E-02	0.12006E-01	0.015899	0.144148E-03	0.998294	0.219292E-03
71	352.864	0.28340E-02	0.41384E-05	0.000005	0.171265E-10	0.998294	0.260544E-10
72	353.893	0.28257E-02	-0.28045E-02	0.003714	0.786542E-05	0.998307	0.119656E-04
73	354.322	0.28223E-02	-0.41193E-03	0.000545	0.169685E-06	0.998308	0.258141E-06
74	354.688	0.28194E-02	0.76082E-03	0.001007	0.578851E-06	0.998309	0.880603E-06
75	354.950	0.28173E-02	-0.10006E-03	0.000133	0.100123E-07	0.998309	0.152317E-07
76	355.401	0.28137E-02	0.49687E-03	0.000658	0.246883E-06	0.998309	0.375581E-06
77	355.559	0.28125E-02	-0.35224E-03	0.000466	0.124072E-06	0.998309	0.188750E-06
78	355.672	0.28116E-02	0.29464E-03	0.000390	0.868126E-07	0.998310	0.132068E-06
79	355.727	0.28111E-02	-0.45210E-04	0.000060	0.204392E-08	0.998310	0.310940E-08
80	356.220	0.28073E-02	-0.17798E-03	0.000236	0.316759E-07	0.998310	0.481884E-07
81	382.322	0.26156E-02	-0.43388E-02	0.005745	0.188255E-04	0.998341	0.286392E-04
82	384.106	0.26034E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.998341	0.00000
83	385.283	0.25955E-02	0.14886E-01	0.019712	0.221588E-03	0.998711	0.337100E-03
84	401.255	0.24922E-02	-0.43687E-02	0.005785	0.190857E-04	0.998743	0.290349E-04
85	407.026	0.24568E-02	-0.61615E-02	0.008159	0.379646E-04	0.998806	0.577554E-04
86	410.888	0.24338E-02	0.0000	0.000000	0.00000	0.998806	0.00000
87	427.142	0.23411E-02	-0.13600E-02	0.001801	0.184973E-05	0.998809	0.281399E-05
88	428.966	0.23312E-02	-0.19161E-03	0.000254	0.367130E-07	0.998809	0.558514E-07
89	449.039	0.22270E-02	-0.16116E-01	0.021341	0.259722E-03	0.999243	0.395113E-03
90	454.622	0.21996E-02	-0.50882E-02	0.006738	0.258899E-04	0.999286	0.393862E-04
91	461.841	0.21652E-02	0.19067E-02	0.002525	0.363537E-05	0.999292	0.553047E-05
92	463.463	0.21577E-02	-0.17481E-02	0.002315	0.305572E-05	0.999297	0.464865E-05
93	466.667	0.21429E-02	0.10778E-02	0.001427	0.116170E-05	0.999299	0.176730E-05
94	475.798	0.21017E-02	-0.19112E-02	0.002531	0.365280E-05	0.999305	0.555699E-05
95	480.092	0.20829E-02	0.16961E-01	0.022460	0.287679E-03	0.999786	0.437644E-03
96	490.517	0.20387E-02	-0.35865E-02	0.004749	0.128633E-04	0.999807	0.195689E-04
97	496.987	0.20121E-02	-0.45329E-02	0.006002	0.205470E-04	0.999841	0.312581E-04
98	498.650	0.20054E-02	0.13971E-02	0.001850	0.195180E-05	0.999845	0.296926E-05
99	501.660	0.19934E-02	0.96466E-02	0.012774	0.930572E-04	1.00000	0.141568E-03
100	503.758	0.19851E-02	0.0000	0.000000	0.00000	1.00000	0.00000
sum				0.599001		0.911258	

Рисунок Б.3 – Результати розрахунку частот власних коливань за Z