

## РОЗРАХУНОК НА СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ СИСТЕМИ ПУСКОВОГО ПОВІТРЯ РДЕС

*Земля під нашими ногами жива, хоч вона є кам'янистою планетою. Попри те, що геологічну активність неможливо відчутти, іноді вона проявляє себе різко та небезпечно. Землетруси та сейсмічні явища відповідають за передачу цих тектонічних ударів і змусили людей бути готовими до різних ситуацій із коливанням земної кори. 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.*

*Залежно від магнітуди землетрусів, відповідно, щороку відбувається від одного до двох десятків землетрусів, потужністю понад 7 балів за шкалою Ріхтера. Як можна запобігти руйнуванням обладнання будівель, катастрофам і смертям та що таке «сейсмостійкість» — питання нашого дослідження.*

*Для підтвердження того, що обладнання гарантовано буде виконувати свої функції в умовах сейсмічних впливів виконується кваліфікація обладнання. Оцінка початкового стану сейсмічної кваліфікації полягає у проведенні зіставлення сейсмічних кваліфікаційних характеристик з сейсмічними кваліфікаційними вимогами, а також встановлення наявності в заводській та проектній документації інформації щодо закріплення обладнання, і дозволяє встановити, чи були враховані пред'явлені в процесі сейсмічної кваліфікації його кваліфікаційні вимоги під час розробки та постановки на виробництво, виготовлення та монтажу.*

*Сейсмічні кваліфікаційні характеристики містяться в конструкторській документації розробників та виробників обладнання та можуть бути зазначені у різному вигляді: значень амплітуд прискорення; інтенсивності землетрусу та рівня встановлення обладнання над нульовою відміткою; параметрів випробувань, групи механічного виконання тощо.*

*Якщо кваліфікаційні характеристики обладнання відповідають визначеним або розрахованим кваліфікаційним вимогам, то кваліфікація такого обладнання на сейсмостійкість є встановленою.*

**Ключові слова:** сейсмостійкість, стійкість, землетрус, коливання, земна кора.

### Вступ

Землетруси — одні із найжахливіших явищ природи через несподівані події, від яких немає засобів для захисту. Єдиний спосіб зберегти життя та майно – підготуватися до неминучого: застосувати знання та досвід щодо сейсмостійкості. Зроблено спробу коротко дізнатися про сейсмостійкість та проаналізувати наявні методи антисейсмічного проектування. Сейсмостійкість є важливим аспектом проектування та будівництва будівель та інфраструктури в зоні сейсмічної активності. Підвищення сейсмостійкості може істотно зменшити ризик пошкодження будівель і споруд, а також втрати життя під час землетрусу.

Рух гірських порід породжує коливання, які поширюються у вигляді хвиль, які досягають поверхні землі як руйнівні поверхневі хвилі. Які види землетрусів ми знаємо і що таке сейсмічні райони. Магнітуда землетрусу виражається в градусах магнітуди. Сейсмічні поштовхи вимірюються за допомогою сейсмографів. Наукою, що вивчає землетруси, є сейсмологія. Епіцентр землетрусу - цей термін використовується для опису місць на земній поверхні, які розташовані безпосередньо над місцем землетрусу; означає місце, де сейсмічні хвилі, що поширюються від фокуса в кожному напрямку, досягають поверхні найшвидше; зазвичай в епіцентрі ці хвилі характеризуються найбільшою руйнівною силою, спричиняючи найбільшу вібрацію ґрунту (епіцентрально зона), але це не правило, оскільки інтенсивність поштовхів також значною мірою залежить від типу ґрунту та геологічних умов; місце землетрусу - точка, в якій почалося виділення енергії, накопиченої на лінії розлому, це теоретична точка, оскільки насправді енергія землетрусу розряджається на деяку поверхню розлому; сейсмічна хвиля - одиночна хвиля вібрації, в якій накопичена енергія вивільняється під час переміщення гірських масивів уздовж лінії розлому; швидкість її поширення залежить від типу хвилі та ґрунту; *homoseist* — лінія, що з'єднує зони, що вібрують одночасно.

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.

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.

У роботі запропоновано проаналізувати наявні методи дослідження сейсмостійкості та їх вплив на подальший розвиток різних сфер та напрямів людського життя.

#### **Аналіз літературних джерел**

Одним із перших науковців, який пояснював сейсмостійкість був Аристотель. 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 землетруси — 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 коливачів. 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.

#### **Мета роботи.**

Мета роботи — аналіз розрахунку на сейсмостійкість системи пускового повітря ДРЕС.

#### **Метод кваліфікації.**

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.

Існує велика різниця між сейсмостійкою будівлею, сконструйованою так, щоб вона стояла навіть у разі пошкодження та сейсмостійкою будівлею, сконструйованою таким чином, щоб неушкодженою пережити землетруси. Сейсмостійку будівлю зміцнюють, щоб не розсипалася на уламки (це дозволяє людям втекти); сейсмостійка конструкція має додаткові функції, призначені для захисту під час колювання. Це зміщення є звичайним явищем під час землетрусів, тому що сейсмічні хвилі та вібрація змушують будівлі колюватися під все більшими кутами, поки вони не зруйнуються. Чим вища будівля, тим сильніше рухатимуться її верхні поверхи під час землетрусу.

Інженери та сейсмологи протягом багатьох років віддавали перевагу ізоляції фундаменту як засобу захисту будівель під час землетрусу. Як впливає з назви, ця концепція ґрунтується на відокремленні підструктури будівлі від її надбудови.

Ще одна перевірена технологія, яка допомагає будівлям витримувати землетруси, бере приклад з автомобільної промисловості. Ви знайомі з амортизатором — пристроєм, який контролює небажаний рух пружини у вашому автомобілі. Амортизатори сповільнюють і зменшують величину вібраційних рухів, перетворюючи кінетичну енергію вашої підстрибуючої підвіски в теплову енергію, яка може розсіюватися через гідравлічну рідину. Однак, амортизатори можуть бути корисними при проектуванні сейсмостійких будівель. Інженери зазвичай розміщують заслінки на кожному рівні будівлі, прикріплюючи один кінець до колони, а інший — до балки. Кожен демпфер складається з головки поршня, яка рухається всередині

циліндра, наповненого силіконовою олією. Під час землетрусу горизонтальний рух будівлі змушує поршень у кожній заслінці тиснути на масло, перетворюючи механічну енергію землетрусу на тепло.

Демпфування може приймати різні форми. Інше рішення, особливо для хмарочосів, передбачає підвищення величезної маси біля верхньої частини конструкції. Сталеві троси підтримують масу, а амортизатори в'язкої рідини лежать між масою та будівлею, яку вона намагається захистити. Коли сейсмічна активність викликає коливання будівлі, маятник рухається у протилежному напрямку, розсіюючи енергію.

Інженери називають такі системи налаштованими масовими демпферами, оскільки кожен маятник точно налаштований на власну частоту коливань конструкції. Якщо рух землі змушує будівлю коливатися на її резонансній частоті, будівля буде вібрувати з великою кількістю енергії та, ймовірно, зазнає пошкоджень. Завдання налаштованого демпфера маси полягає в протидії резонансу та мінімізації динамічної реакції конструкції. Пластичність матеріалів — серйозна проблема для інженерів, які намагаються створити сейсмостійкі конструкції. Пластичність описує деформацію, яка виникає в будь-якому матеріалі під час дії на нього сил. Якщо сили досить сильні, форма матеріалу може бути змінена назавжди, що ставить під загрозу його здатність функціонувати належним чином. Сталь може зазнавати пластичних деформацій, як і бетон. І все ж обидва ці матеріали широко використовуються практично у всіх комерційних забудовах.

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 гнучкі деформації, механізми газових коливань, зміщення та ін.
3. Підсилення та модернізація існуючих приміщень за для підвищення сейсмостійкості.
4. Будівництво будівель на спеціальних фундаментах, які дозволяють будівлі підніматися і опускатися під час землетрусу.
5. Встановлення спеціальних сейсмічних датчиків і систем автоматичного управління, які можуть попередити 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. Сьогодні ефективні інструменти моделювання кінцевих елементів дозволяють проводити динамічні розрахунки, які можуть точно передбачити поведінку підпирних стін під впливом різних сейсмічних навантажень, включаючи внутрішні сили, деформації, підвищення тиску води та прогнозовані моделі руйнувань.

Як метод аналізу використовується метод кінцевих елементів. За основу взято методику граничної сейсмостійкості (МГС), затверджену 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 спільним 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.

Розрахунковий аналіз сейсмостійкості елементів АЕС, що діють, в рамках методу граничної сейсмостійкості проводиться з метою визначення інтегрального параметра сейсмостійкості HCLPF, що характеризує рівень сейсмічної стійкості цього елемента. Параметр HCLPF, який виражається в одиницях прискорення вільного падіння  $g$ , порівнюється з величиною максимального прискорення на ґрунті (PGA), визначеною для майданчика АЕС та характеризує інтенсивність землетрусу, прийнятого як сейсмічні кваліфікаційні вимоги.

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

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

У спрощеному вигляді формула (3.1) має наступний вигляд:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{D_S} \quad (2)$$

де:

- C - значення допустимого параметра (наприклад, напруги, що допускається);
- $D_{NS}$  – внесок у оцінюваний параметр всіх несейсмічних навантажень, що входять до запропонованої комбінації навантажень;
- $D_S$  - вклад в оцінюваний параметр тільки сейсмічних інерційних навантажень;

$D_{SAM}$  – вклад в оцінюваний параметр навантажень від сейсмічного зміщення опор;

$\delta C_s$  – 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, викликану сейсмічною 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. У такому разі формула набуває наступного вигляду:

$$FS = \frac{(1,8 \cdot [\sigma] - \sigma_2)}{\sigma_s} (3)$$

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

Для опорних металокопункцій оцінка сейсмостійкості виконується відповідно до спеціальних норм.

Геометричні розміри опорних копункцій уточнюються за місцем експлуатації. Опорні копункції, для яких відсутня точна інформація щодо матеріалу, приймаються консервативно з матеріалом найменшого класу міцності – С235. Допустима напруга для матеріалу з класом міцності С235:

$$R_d = \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} = 184, \text{ Н/мм}^2 (4)$$

де:

$\gamma_c$  - коефіцієнт умов роботи;

$\gamma_n$  - Коефіцієнт надійності.

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

Відповідно до визначених положень, розрахунок на сейсмостійкість арматури проводиться у схемі жорсткого закріплення патрубків, з використанням спектрів відповіді для найвищої позначки розміщення арматури однієї групи опорних металокопункцій. Виходячи з того, що арматури знаходяться на проміжних опорних копункціях, то сейсмічні навантаження приймаються з коефіцієнтом, що дорівнює 2. Додатково при розрахунку сейсмостійкості арматури враховується значення її власної ваги та умови експлуатації. Для подальшого розрахунку опорної металокопункції вибирається арматура із найбільшим значенням отриманих зусиль (арматура з найбільшою масою).

Розрахунки елементів на сейсмостійкість виконуються з урахуванням фактичної геометрії, розміщення, стану опор та властивостей матеріалу. Для опорних металокопункцій оцінка сейсмостійкості виконується відповідно до норм. Геометричні розміри опорних копункцій уточнюються за місцем експлуатації. Опорні копункції, для яких відсутня точна інформація щодо матеріалу, приймаються консервативно з матеріалом найменшого класу міцності – С235. Розрахунковий опір для даного класу міцності дорівнює

$$R_y = 230, \text{ Н/мм}^2 (5)$$

Допустима напруга для матеріалу з класом міцності С235:

$$R_d = \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} = 184, \text{ Н/мм}^2 (6)$$

де:

$\gamma_c$  - коефіцієнт умов роботи;

$\gamma_n$  - коефіцієнт надійності.

Для металокопункцій коефіцієнт запасу FS визначається за наступною залежністю:

$$FS = \frac{(R_d - \sigma_2)}{\sigma_s} (7)$$

Сейсмостійкість металокопункцій вважається забезпеченою при виконанні наступних умов:

- величина граничної сейсмостійкості  $HCLPF > PGA$ ;
- максимальні значення еквівалентних напруг у всіх вузлах та елементах не перевищують значення розрахункового опору (критерій міцності). Виконуються такі умови: виконуються критерії міцності та стійкості конструктивних елементів металокопункції; виконуються умови міцності та сейсмостійкості зварних та болтових з'єднань.

Відповідно до визначених положень, розрахунок на сейсмостійкість арматури проводиться у схемі жорсткого закріплення патрубків, з використанням спектрів відповіді для найвищої позначки розміщення арматури однієї групи опорних металокопункцій. Виходячи з того, що арматури знаходяться на проміжних опорних копункціях, то сейсмічні навантаження приймаються з коефіцієнтом, що збільшує, рівним 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.

У рамках Звіту щодо підвищення кваліфікації обладнання енергоблоку № 2 ВП ХАЕС на сейсмічні впливи розглядається обладнання з невідповідністю групи «А». Для обладнання, у якого, крім невідповідностей групи «А», також присутні зауваження групи «В», «С» або «D» має бути виконаний додатковий аналіз зауважень, уточнено обсяг та якість реалізованих компенсуючих заходів, на підставі чого буде виконано підвищення кваліфікації на наступних етапах проведення кваліфікації обладнання згідно з ТЗ.

Систематичне використання або невикористання відомих сейсмостійких методів у будь-якому суспільстві залежить від сприйняття ризику землетрусу та наявних фінансових ресурсів. Практика сейсмостійкого будівництва значно дорожча, ніж звичайне будівництво. На сприйняття в основному впливає коротка індивідуальна і більш тривала соціальна пам'ять. Якщо час повторення землетрусу довший за збереження соціальної пам'яті, якщо руйнівні землетруси відходять у минуле, суспільства знову і знову допускають одні й ті самі помилки при будівництві. Довговічність пам'яті, можливо, становить від одного до трьох поколінь, тобто менше 100 років. Події, які відбуваються рідше, можна легко забути, а ризик повторення вважається незначним і не вартує витрат на безпечні методи будівництва. Часті землетруси підтримують безпечну практику будівництва.

Необхідно зазначити, що через різні причини частина обладнання з невідповідностями групи «А» не розглядається в рамках цього звіту, а саме:

- баки запасу технічної води групи «А» 2VF10B01; 2VF20B01; 2VF30B01, зважаючи на їх відключення згідно з технічним рішенням №2.ТЦ.0130.ТР-VF «Про відключення баків запасу технічної води групи «А» 2VF10B01; 2VF20B01; 2VF30B01 за постійною схемою»;

- баки спринклерного розчину 2TQ11B01; 2TQ21B01; 2TQ31B01, баки аварійного запасу концентрованого розчину бору 2TQ13B01; 2TQ23B01; 2TQ33B01, баки аварійного запасу концентрованого розчину бору 2TQ14B01; 2TQ24B01; 2TQ34B01 через те, що для такого обладнання необхідно уточнювати окремі розміри за місцем експлуатації, зокрема для коректного завдання навантажень на патрубки необхідно уточнити трасування незареєстрованих ділянок трубопроводів після першої запірної арматури. Розрахунок сейсмостійкості такого обладнання буде виконано на підставі результатів візуального обстеження у ППР-2015;

- теплообмінники аварійного розхолодження 2TQ10W01, 2TQ20W01, 2TQ30W01 через те, що для такого обладнання необхідно уточнювати окремі розміри за місцем експлуатації, зокрема для коректного завдання навантажень на патрубки необхідно уточнити трасування незареєстрованих ділянок трубопроводів. Розрахунок сейсмостійкості такого обладнання буде виконано на підставі результатів візуального обстеження у ППР-2015;

- теплообмінники розхолодження басейну витримки 2TG11W01, 2TG12W01, 2TG13W01 через те, що для такого обладнання необхідно уточнювати окремі розміри за місцем експлуатації, зокрема для коректного завдання навантажень на патрубки необхідно уточнити трасування незареєстрованих ділянок трубопроводів. Розрахунок сейсмостійкості такого обладнання буде виконано на підставі результатів візуального обстеження у ППР-2015;

- сітчасті фільтри 2TQ13N01, 2TQ23N01, 2TQ33N01, через відсутність за ними технічної документації в архіві РЦ та необхідність здійснення вимірів за місцем експлуатації, зокрема уточнення трасування трубопроводу. Розрахунок сейсмостійкості такого обладнання буде виконано на підставі результатів візуального обстеження у ППР-2015;

- баки проміжні 2QC12B01, 2QC22B01, 2QC32B01 у зв'язку з відсутністю адекватної можливості оцінити обладнання за місцем експлуатації та необхідністю збору додаткових вихідних даних;

- арматура систем ТГ, ТК, УТ, для сейсмічної кваліфікації якої необхідне підтвердження сейсмостійкості відповідних трубопроводів. Для окремих незареєстрованих ділянок трубопроводів необхідно уточнити трасування для коректного обліку фізичних меж трубопроводів. Оцінку сейсмостійкості таких трубопроводів буде виконано на підставі результатів візуального обстеження у ППР-2015.

Для того, щоб визначити реакцію конструкції на сейсмічні навантаження використовується методика розрахунку конструкцій від узагальненого сейсмічного навантаження.

Відповідно до даної методики розрахунок поділяють на три етапи:

1.Обрахування власних форм та частоту коливань. Це перший та обов'язковий крок, який відбувається без урахування динамічних навантажень. Рівняння має вигляд:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0(8)$$

2. Обчислення модальних (що відповідають кожній з власних форм) інерційних сейсмічних навантажень на конструкцію для заданого напрямку впливу. Для визначення сейсмічних навантажень в просторовій динамічній системі при трикомпонентній сейсмічній взаємодії, що задана спектрами відгуку для трьох взаємно перпендикулярних напрямків.

У результаті проведених розрахунків частот власних коливань щодо X, отримуємо наступні дані.

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** X DIRECTION									
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS		
1	5.90002	0.16935	-0.10406E-04	0.000018	0.108288E-09	0.129217E-09	0.108573E-09		
2	31.5199	0.31726E-01	0.21022	0.368719	0.441910E-01	0.527322E-01	0.432059E-01		
3	32.4971	0.30772E-01	0.40427E-02	0.007091	0.163438E-04	0.527517E-01	0.159794E-04		
4	37.0585	0.26984E-01	0.26039E-02	0.015091	0.740270E-04	0.528401E-01	0.723768E-04		
5	44.8386	0.22302E-01	0.52857E-01	0.093413	0.283635E-02	0.542244E-01	0.277311E-02		
6	47.0655	0.21246E-01	0.28682	0.503082	0.822662E-01	0.154391	0.804320E-01		
7	55.9322	0.17879E-01	0.21473E-01	0.037663	0.461086E-03	0.154941	0.480806E-03		
8	81.2003	0.12315E-01	-0.45474E-02	0.007976	0.206784E-04	0.154966	0.202174E-04		
9	89.3346	0.11194E-01	0.20138	0.353226	0.405556E-01	0.203360	0.396514E-01		
10	95.2114	0.10182E-01	-0.96027E-02	0.016843	0.921277E-04	0.203470	0.901567E-04		
11	100.633	0.099371E-02	-0.57013	1.000000	0.325046	0.591340	0.317799		
12	137.399	0.72780E-02	0.15005	0.263195	0.225164E-01	0.618209	0.220143E-01		
13	176.755	0.56575E-02	-0.35098E-01	0.061562	0.123188E-02	0.619679	0.120441E-02		
14	186.512	0.53616E-02	0.37400E-02	0.006560	0.139873E-04	0.619695	0.136754E-04		
15	192.998	0.51814E-02	0.19001E-02	0.003333	0.361032E-05	0.619700	0.352952E-05		
16	206.870	0.48388E-02	-0.10751	0.188580	0.115894E-01	0.623493	0.113017E-01		
17	234.409	0.42660E-02	0.35102	0.615622	0.123213	0.780521	0.120466		
18	241.874	0.41395E-02	-0.70323E-01	0.123345	0.494526E-02	0.786422	0.483500E-02		
19	252.020	0.39679E-02	-0.33130E-01	0.058110	0.109760E-02	0.787732	0.107313E-02		
20	259.144	0.38589E-02	0.73207E-02	0.012840	0.535926E-04	0.787796	0.523977E-04		
21	273.623	0.36847E-02	0.17602	0.308731	0.309817E-01	0.824766	0.302909E-01		
22	287.844	0.34777E-02	-0.28277E-02	0.004960	0.799604E-05	0.824775	0.781776E-05		
23	294.740	0.33928E-02	0.62063E-01	0.108858	0.385182E-02	0.829371	0.376594E-02		
24	297.128	0.33686E-02	-0.48840E-01	0.085664	0.238831E-02	0.832218	0.233218E-02		
25	312.614	0.31988E-02	-0.24202E-01	0.042451	0.585756E-03	0.832917	0.572696E-03		
26	323.179	0.30943E-02	-0.37316E-01	0.065452	0.139247E-02	0.834878	0.136147E-02		
27	330.965	0.30215E-02	0.19003E-01	0.033330	0.361100E-03	0.835009	0.353049E-03		
28	335.928	0.29768E-02	0.17121E-02	0.004960	0.293125E-05	0.835013	0.286590E-05		
29	348.897	0.28662E-02	-0.25472	0.446781	0.648834E-01	0.912437	0.634368E-01		
30	377.823	0.26467E-02	-0.11221E-01	0.019681	0.125902E-03	0.912687	0.123099E-03		
31	390.974	0.25577E-02	0.45542E-01	0.079881	0.207408E-02	0.915062	0.202784E-02		
32	404.601	0.24718E-02	0.32405E-01	0.058839	0.105011E-02	0.916315	0.102669E-02		
33	408.878	0.24457E-02	-0.85180E-01	0.149405	0.725562E-02	0.924973	0.709388E-02		
34	419.245	0.23652E-02	0.12587	0.273395	0.242954E-01	0.923964	0.237537E-01		
35	421.253	0.23739E-02	0.84924E-01	0.148956	0.721211E-02	0.962870	0.705131E-02		
36	451.750	0.22136E-02	0.65186E-01	0.114335	0.424919E-02	0.967641	0.415445E-02		
37	467.699	0.21381E-02	0.25880E-01	0.045393	0.669772E-03	0.968440	0.654839E-03		
38	497.483	0.20101E-02	-0.10574	0.185474	0.111818E-01	0.981783	0.109325E-01		
39	518.215	0.19297E-02	-0.10546	0.184977	0.111219E-01	0.995054	0.108739E-01		
40	535.323	0.18576E-02	-0.64378E-01	0.112919	0.414456E-02	1.00000	0.405219E-02		
sum					0.838027		0.819342		

Коли сейсмічні хвилі досягають поверхні землі, вони змушують землю та все, що на ній знаходиться, вібрувати на певних частотах. Під час землетрусу будівля має тенденцію вібрувати навколо однієї певної частоти, відомої як її природна або основна частота. Коли будівля та земля мають спільну власну частоту будівлі, вони називаються резонансними. Це погано. Резонанс посилює наслідки землетрусу, спричиняючи більші пошкодження будівель.

Навіть симетричні будівлі повинні витримувати значні бічні сили. Інженери протидіють цим силам як у горизонтальних, так і у вертикальних структурних системах будівлі. Діафрагми є ключовим компонентом горизонтальної конструкції. До них відносяться підлоги будівлі, а також її дах. Інженери зазвичай розподіляють кожну діафрагму на окремому майданчику та змінюють її горизонтально, щоб вона могла розподіляти бічні сили з вертикальними елементами конструкції.

Метою сейсмостійких будівель є збереження життя. Це означає, що будівля, яка не руйнується і дозволяє своїм мешканцям втекти, вважається успішною, навіть якщо її зрештою знесуть.

### Обговорення результатів.

Землетруси відбуваються, коли масиви гірських порід у земній корі ковзають і ковзають одна об одну. Цей вид руху найчастіше зустрічається вздовж розлому, розриву в тілі скелі, який може простягатися на милі або навіть сотні миль. Коли шматки гірської кори раптово ковзають і рухаються, вони вивільняють величезну кількість енергії, яка потім поширюється через земну кору у вигляді сейсмічних хвиль. На поверхні Землі ці хвилі змушують ґрунт тремтіти й вібрувати, іноді сильно.

За останні роки наука про будівництво сейсмостійких конструкцій значно просунулася вперед, але це не зовсім нова тема. Фактично, кілька старовинних будівель все ще стоять сьогодні, незважаючи на їх розташування в активних сейсмічних зонах. Цікаво, що більшість майбутнього сейсмічної інженерії передбачає огляд назад, а не вперед. Це тому, що модернізація старих будівель із покращенням дизайну та матеріалів так само важлива, як будівництво нових будівель з нуля. Інженери виявили, що додавання систем ізоляції основи до конструкцій є здійсненним і економічно привабливим.

Багаторічний досвід проведення експертних розрахунків дозволяє стверджувати, що в окремих випадках положення методики не забезпечує достатнього рівня.

Отримані результати можуть бути використані при розрахунку сейсмостійкості в архітектурі та плануванні забудов. Сучасна модернізація дозволить забезпечити сейсмостійкість та зберегти життя людей у разі аварії. Розрахункова модель (схема) будівельних конструкцій, обладнання та трубопроводів АЕС повинна відображати важливі для оцінки сейсмостійкості особливості геометрії елементів, а також розподілу мас і жорсткостей.

**Висновки**

1. Монументальні споруди найкраще підходять для вивчення антисейсмічних методів будівництва.
2. Застосування передового досвіду, отриманого з місцевих сейсмічних культур, значно знизило б вразливість громад, які живуть у сейсмонебезпечних районах.
3. Можливість зробити будівлі здатними протистояти коливанню землі та знати способи швидкої реконструкції після руйнування, залежить від наявного матеріалу та знання належної практики будівництва.
4. Кожному виду обладнання визначено методи та порядок підвищення кваліфікації обладнання з метою уникнення руйнувань під час землетрусу.
5. Групування обладнання відбувається відповідно до визначених критерій.
6. Для кожної групи кваліфікації обладнання потрібні інші методи.

**Список використаної літератури**

1. Kagan Y.Y. Universality of the seismic moment-frequency relation // Pure Appl. Geoph. — 1999. — V. 155. — P. 537—573.
2. Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г. та ін. Практичні питання динаміки будівель // Будівництво Ук раїни. — 2013. — № 6. — С. 6—21.
3. Національний атлас України / за ред. Л.Г. Руденка та ін. — К.: Картографія, 2007. — 640 с.
4. ДБН В.1.1-12:2006. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України. — К.: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2006. — 84 с.
5. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. — К.: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014. — 110 с.
6. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. — Vienna: IAEA, 2010. — 62 p.
7. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions // Int. J. Earthquake Eng. Struct. Dyn. — 1979. — V. 7. — P. 427—439.
8. 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».
9. ГОСТ 30546.1-98 «Загальні вимоги до машин, приладів та інших технічних виробів та методи розрахунку їх складних конструкцій у частині сейсмостійкості».
10. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування, Київ, Мінрегіонбуд України, 2014.
11. ЗВІТ- Кваліфікація тепломеханічного обладнання РДЕС енергоблока №5 ВП «Запорізька АЕС» на сейсмічні дії.



T.Bibik<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-0134-6022

I.Ostapenko<sup>1</sup>, engineer, ORCID 0000-0003-3980-1609

D. Havryl'chyk<sup>1</sup>, master student, ORCID 0009-0002-8315-7769

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## CALCULATION OF THE SEISMIC RESISTANCE OF THE START-UP AIR SYSTEM OF RDES

*The earth beneath our feet is alive, even though it is a rocky planet. Despite the fact that geological activity cannot be felt, sometimes it manifests itself sharply and dangerously. Earthquakes and seismic phenomena are responsible for the transmission of these tectonic shocks and have forced people to be prepared for different situations with the oscillation of the earth's crust. Seismic shocks cause many dangerous phenomena: landslides and avalanches in the mountains, flood waves (tsunamis) on the shores of seas and oceans, cracks and liquefaction on the land surface.*

*Depending on the magnitude of the earthquakes, each year there are from one to two dozen earthquakes with a power of more than 7 points according to the Richter scale. How can the destruction of building equipment, disasters and deaths be prevented and what is "seismic resistance" is the question of our research.*

*In order to confirm that the equipment is guaranteed to perform its functions under seismic conditions, equipment qualification is performed. The assessment of the initial state of seismic qualification consists in comparing the seismic qualification characteristics with the seismic qualification requirements, as well as establishing the availability of information in the factory and project documentation regarding the fastening of the equipment, and allows to establish whether the qualification requirements presented in the process of seismic qualification were taken into account during development and staging for production, manufacturing and installation.*

*Seismic qualification characteristics are contained in the design documentation of equipment developers and manufacturers and can be specified in different forms: values of acceleration amplitudes; the intensity of the earthquake and the level of installation of equipment above the zero mark; test parameters, mechanical performance groups, etc.*

*If the qualification characteristics of the equipment meet the defined or calculated qualification requirements, then the qualification of such equipment for earthquake resistance is established.*

**Key words:** seismic resistance, stability, earthquake, oscillations, earth's crust.

### References

1. Kagan Y.Y. Universality of the seismic moment-frequency relation // Pure Appl. Geoph. — 1999. — V. 155. — P. 537—573.
2. Nemchynov Y.I., Khavkin O.K., Maryenkov M.G. etc. Practical issues of building dynamics // Construction of Ukraine. — 2013. — № 6. — p. 6—21.
3. National atlas of Ukraine / edited by L.G. Rudenko and others. — K.: Cartography, 2007. — 640 p.
4. DBN B.1.1-12:2006. Protection from dangerous geological processes, harmful operational influences, from fire. Construction in seismic areas of Ukraine. — K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, Ukrarchbudinform, 2006. — 84 p.
5. DBN B.1.1-12:2014. Construction in seismic areas of Ukraine. — K.: Ministry of Regional Construction of Ukraine, Ukrarchbudinform, 2014. — 110 p.
6. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. — Vienna: IAEA, 2010. — 62 p.
7. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions // Int. J. Earthquake Eng. Struct. Dyn. — 1979. — V. 7. — P. 427—439.
8. 75.111-00.03.02-12-17-PR «Ensuring seismic resistance of elements, systems and structures important for safety. Construction of a complex of floor accelerograms and response spectra for buildings and structures of power units No. 5 and No. 6. Book 2. The results of the calculation of floor spectra of the response of buildings RO-5, RO-6».
9. GOST 30546.1-98 «General requirements for machines, devices and other technical products and methods of calculating their complex structures in terms of seismic resistance».
10. DBN B.2.6-198:2014. Steel structures. Design standards, Kyiv, Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2014.
11. REPORT - Qualification of the thermomechanical equipment of the RDES of power unit No. 5 of the Zaporizhzhya NPP VP for seismic actions.

Надійшла: 12.08.2024

Received: 12.08.2024