

Шульженко М. Г.

Гонтаровський П. П.

Гармаш Н. Г.

Глядя А. О.

*Інститут проблем
машинобудування
ім. А.М. Підгорного
Національної академії
наук України*

Швецов В. Л.

Гришин М. М.

Губський О. М.

*Публічне акціонерне
товариство
“Турбоатом”*

Shulzhenko M. G.

Gontarovskiy P. P.

Garmash N. G.

Glyadya A. O.

*A.N. Podgorny Institute
for Mechanical
Engineering Problems of
the National Ac.Sci. of
Ukraine*

Svetsov V. L.

Grishin M. M.

Gubskiy O. M.

*Public joint-stock
company
“Turboatom”*

УДК 539.3

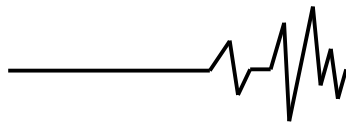
ОЦІНКА РЕАКЦІЇ ПОТУЖНОГО ТУРБОАГРЕГАТУ НА СЕЙСМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Проведено оцінку реакції елементів потужного турбоагрегату атомної електростанції на сейсмічне навантаження, яке описується з використанням акселерограм реальних землетрусів. Розрахунки проводилися за допомогою розробленого на основі методу скінченних елементів програмного забезпечення. Усі елементи динамічної системи турбоагрегат-фундамент-основа моделюються довільно орієнтованими стержнями і зосередженими масами з моментами інерції, що з'єднуються між собою абсолютно жорстко або за допомогою лінійних чи нелінійних пружно-демпферних елементів. У стержневих елементах із розподіленими параметрами враховуються всі види деформацій, які мають місце при коливаннях. Дослідження показали, що характер сейсмічного навантаження, навіть при однаковій бальності землетрусу, істотно впливає на навантаженість окремих елементів системи. Одержані результати можуть бути використані при проектуванні елементів потужних турбоагрегатів атомних електростанцій, здатних витримувати значні сейсмічні навантаження.

Ключові слова: турбоагрегат, фундамент, основа, сейсмічне навантаження, акселерограма, стержневий елемент, коливання.

Вступ. Головним завданням при проектуванні й експлуатації атомних електростанцій (АЕС) є забезпечення надійності і безпеки на всіх режимах їх роботи, у тому числі й при екстремальних зовнішніх динамічних впливах природного і техногенного

характеру. Одними із найнебезпечніших і інтенсивних природних впливів, які можуть викликати катастрофічні руйнування, є землетруси [1]. Для АЕС необхідне забезпечення як міцності споруд, так і працездатності устаткування, що перебуває в



них, під дією інтенсивних сейсмічних навантажень [2, 3]. Тому визначення реакцій елементів системи турбоагрегат-фундамент-основа (ТФО) на сейсмічні впливи є актуальною задачею, до розв'язання якої звертаються вітчизняні та зарубіжні фахівці [4].

Сейсмічний вплив характеризується коливанням ґрунту при землетрусі, що викликає кінематичне збудження коливаний досліджуваного об'єкта. При цьому сейсмічний вплив у загальному випадку представляється трикомпонентними акселерограмами (записами

прискорення в часі) для двох горизонтальних і вертикального напрямків. Акселерограми можуть представлятися або інструментальними записами реальних землетрусів (природних і штучних, тривалістю 5 – 30 секунд), або синтезованими функціями, що узагальнюють у собі спектральні властивості реальних землетрусів.

Максимальний рівень аналогових і синтезованих акселерограм не повинен перевищувати значень, наведених у табл. 1 [2].

Таблиця 1

Максимальний рівень прискорення

Сейсмічність у балах	5	6	7	8	9	10
Максимальний рівень прискорення (у частках g)	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8

З приведених співвідношень видно, що сила сейсмічного навантаження з підвищенням інтенсивності землетрусу на один бал подвоюється. Землетруси нижче 5 і вище 10 балів не розглядаються в якості проектних ситуацій. Перші – безпечні, а другі досить руйнівні, тому забезпечення сейсмостійкості споруд при таких землетрусах недоцільне. При сейсмічній дії на систему ТФО впливають всі три компоненти акселерограми. Експериментально встановлено, що горизонтальні прискорення у більшості випадків перевищують вертикальні.

Постановка задачі. Для дослідження коливаний системи ТФО при сейсмічному навантаженні, яке моделюється прискореннями ґрунту у трьох взаємноперпендикулярних напрямках, на основі методу скінченних елементів (МСЕ) розроблено методику та програмне забезпечення [5]. Задача розв'язується в рухомій системі координат x, y, z , пов'язаній з основою, де вісь x направлена вздовж осі турбоагрегату, y – у горизонтальному, а z – у вертикальному напрямку (рис. 1). Рівняння руху, які описують нестационарні коливання системи, інтегруються за часом із заданим кроком Δt методами Ньюмарка або Вілсона [6]. При цьому основа вважається нерухою, а до просторової конструкції, яка задається стержневими пружно-демпферними елементами та зосередженими масами, прикладається інерційне навантаження, пов'язане з прискоренням основи, що визначається оцифрованою акселерограмою з інтервалом часу Δt .

Для прогнозування динамічної реакції системи ТФО потужного турбоагрегату АЕС К-1100-5,9/25 на сейсмічне збурення створена розрахункова модель, в якій враховуються її основні конструктивні особливості. При цьому використовуються еквівалентні динамічні характеристики, які визначаються при розрахунках за методом скінченних елементів. Модель включає фундаментну плиту з трьома встановленими на ній конденсаторами, рамно-стіновий фундамент, на якому розміщені корпуси циліндрів високого і низького тиску, корпуси генератора та збудника, а також виносні підшипники, на які опирається валопровід із шести роторів. Сейсмічне збурення передається від ґрунту на нижню фундаментну плиту. Податливість ґрунту враховується за моделлю Вінклера. Загальний вигляд фундаменту турбоагрегату представлений на рис. 1.

Рамно-стінова частина фундаменту розташовується на нижній фундаментній плиті. Пластинчаті вертикальні стінки в області розташування конденсаторів моделюються решітками із трьох вагомих вертикальних стержнів з поперечними невагомими. Їх сумарна жорсткість у площині xz співпадає із згинною жорсткістю стінки, як і сумарна її маса, а для врахування жорсткості стінки в площині yz вводяться поперечні невагомні стержні, осі яких жорстко з'єднуються з осями вертикальних стержнів. Зосередженими масами в вузлах стержнів враховується маса обладнання і трубопроводів, що встановлюються на фундаменті.

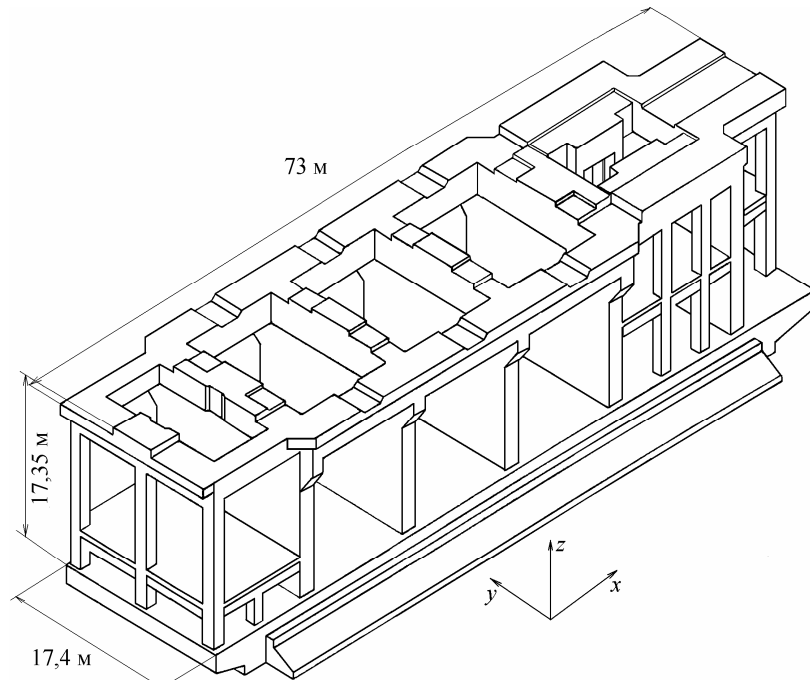
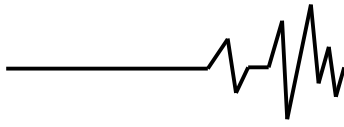


Рис. 1. Схема фундаменту турбоагрегату

Для оцінки динамічної податливості моделі використовувалось дві розрахункові схеми фундаменту, які мали різний ступінь складності і налічували 273 і 378 стержнів. У першій нижня фундаментна плита моделюється одним стержнем, вісь якого паралельна осі турбоагрегату x , у другій – решіткою, як і вертикальні стінки фундаменту. Результати розрахунків власних частот коливань в області до 30 Гц і динамічні податливості для обох схем мають близькі значення, тому використання другої розрахункової моделі фундаменту (рис. 2) є достатнім для оцінки реакції системи ТФО на сейсмічне навантаження.

Корпус циліндра високого тиску (ЦВТ) моделюється стержнем, поперечний переріз якого має вигляд кільця з фланцями. При побудові розрахункової моделі враховувались маси внутрішньої частини корпусу – обойми, діафрагми і т.д. Корпус ЦВТ опирається на стільці першого і другого корпусів підшипників, які кріпляться до рами ригеля шпонками, що з'єднані з корпусом ЦВТ Т-подібними вертикальними шпонками на відстані на 1,2 м нижче осі турбіни. Перший підшипник може здійснювати переміщення в осьовому напрямку разом із корпусом ЦВТ.

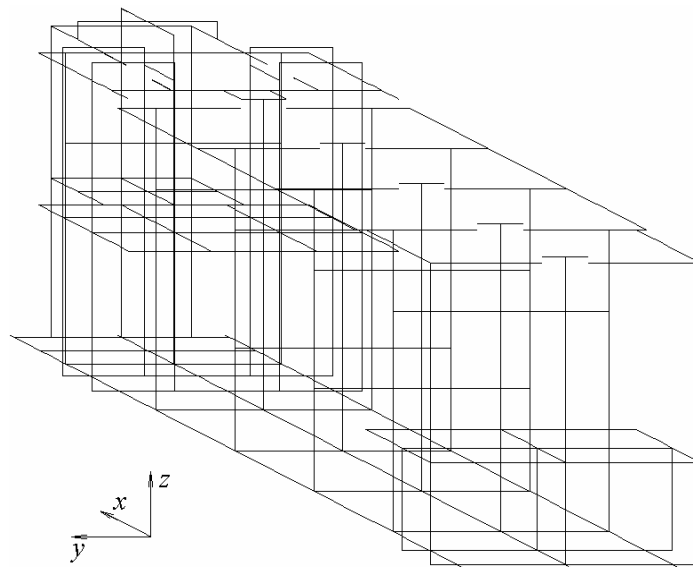


Рис. 2. Розрахункова схема фундаменту



Корпуси циліндрів низького тиску (ЦНТ) є просторовими податливими пластинчато-стержневими конструкціями, розрахункова модель яких показана на рис. 3. Корпус ЦНТ установлений на фундамент і має складне з'єднання з ним у вигляді шпонок і системи пружин. На основі розрахунків методом скінчених елементів отримано динамічні характеристики корпусу. При побудові

еквівалентної розрахункової моделі досягались збереження масово-геометричних параметрів і головних характеристик, до яких відносяться габарити корпусу, точки опирання на фундамент, статична жорсткість під дією власної ваги, та амплітудно-частотні характеристики до 30 Гц. Отримано форму коливань на резонансній частоті 24 Гц, яка відповідає подовжньому згину осі корпусу.

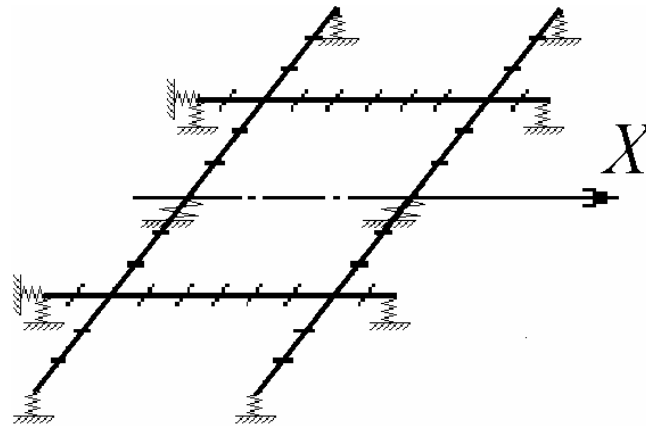


Рис. 3. Розрахункова модель корпусу ЦНТ

Модель корпусу генератора складалась із трьох стержнів із поперечними перерізами у вигляді кілець. Корпус збудника моделювався одним стержнем у вигляді труби. При цьому враховувались геометричні, масові та жорсткісні характеристики їх елементів.

Валопровід турбоагрегату має шість роторів: ротор високого тиску (РВТ), три ротори низького тиску (РНТ), ротор генератора і збудника. Він опирається на 12 опорних і один упорний підшипник, який розміщено в кінці РВТ. Ротори моделюються трубчатими стержневими елементами з розподіленою масою різного поперечного перерізу, а фланці – зосередженими масами. Ділянки роторів з облопаченими дисками (т.з. бочки ротора) моделюються ділянкою, маса якої включає маси облопачених дисків. Валопровід опирається на корпуси підшипників через пружно-демпферний масляний шар.

Корпуси виносних підшипників моделюються вертикальними стержнями з поперечним перерізом у вигляді коробки, які в поперечному і осьовому напрямку закріплені двома парами горизонтальних шпонок, що впраховуються пружними елементами.

В моделі системи ТФО враховується вплив конденсаторів та іншого допоміжного обладнання, які представлені стержнями різного поперечного перерізу у відповідності до геометричних та динамічних характеристик. На нижній фундаментній плиті, на висоті 2 м від

поверхні, розміщуються три конденсатори циліндрів низького тиску, які встановлено на спеціальних сталевих трубах. Жорсткості трубок для кожного конденсатора задаються чотирма пружними елементами.

Сейсмічне навантаження на систему ТФО моделюється змінними прискореннями з використанням експериментальних акселерограм землетрусів. У даній роботі розрахунки проводилися для трьох реальних акселерограм, графіки яких представлено на рис. 4. Вихідними даними є бальність і максимальні рівні прискорення акселерограм. За допомогою масштабних коефіцієнтів реальні акселерограми приводилися до рівня семибального землетрусу.

Результати досліджень. Дослідження впливу сейсмічного навантаження на елементи системи ТФО турбоагрегату К-1100-5,9/25 проводилися за аналізом максимальних переміщень, швидкості і прискорення у характерних точках верхньої плити фундаменту, корпусів циліндрів турбоагрегату, генератора та виносних підшипників, валопроводу та конденсаторів. Оцінювались зусилля і тиск на колодки упорного підшипника, зусилля і напруження в місцях кріплення елементів турбоагрегату на фундаменті. Ці елементи конструкції є найбільш відповідальними за надійність роботи системи ТФО при сейсмічних навантаженнях.

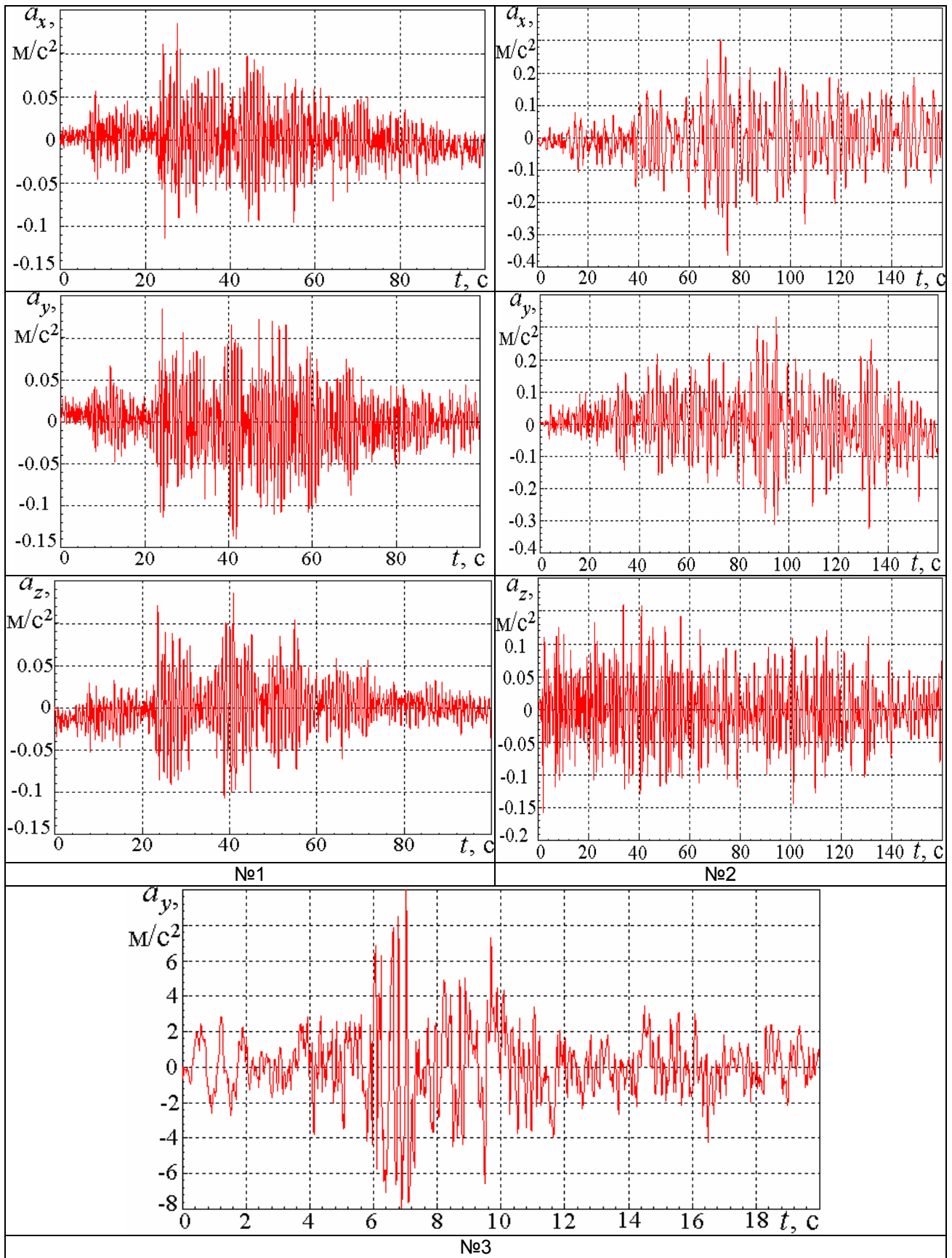
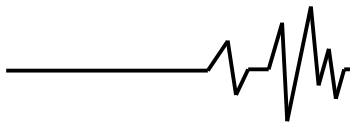
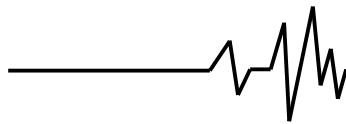


Рис. 4. Схеми акселерограм



За допомогою створеного графічного інтерфейсу програмного забезпечення розглянуто анімацію руху турбоагрегату і фундаменту, а також графіки зміни за часом переміщень, швидкостей і прискорень характерних точок та графіки зміни зусиль в елементах кріплення корпусів турбоагрегату на фундаменті.

Оцінка результатів, одержаних за розрахунковими моделями системи ТФО різної складності, виконувалась для сейсмічного навантаження, що характеризується акселерограмою № 2 (рис.4).

У першому варіанті розрахункової моделі ТФО маса турбоагрегату розподілялась у вузлах скінченних елементів верхньої фундаментної плити. В другому – маси корпусів циліндрів задавались по верхній фундаментній плиті, корпуси виносних підшипників кріпились на ній жорстко, а валопровід із жорстких циліндричних стержнів через масляний шар опирався на виносні підшипники. У третій

розрахунковій схемі валопровід і корпуси циліндрів представлялись стержневими елементами відповідної жорсткості і маси. При цьому кріплення корпусів виносних підшипників і циліндрів моделювалось жорсткістю шпонок у місцях розташування фікспунктів. У таблиці 2 приводяться значення переміщень, зусиль та прискорень у точках з максимальними і мінімальними значеннями. Для першого варіанту розрахункової моделі маси турбоагрегату розміщені в площині верхньої фундаментної плити, тому переміщення плити мають нижчі значення, ніж для інших варіантів. Для другого варіанту результати доповнені значеннями для точок валопроводу та навантаженнями на колодки упорного шідшипника. У третьому – крім результатів для переміщень, одержані значення зусиль у пружних кріпленнях корпусів підшипників і циліндрів на верхній фундаментній плиті, які неможливо отримати при розрахунках для перших двох схем.

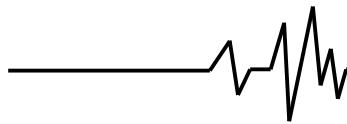
Таблиця 2

Дані розрахунків для різних моделей системи ТФО

Найменування	Позначення	Розрахункова схема		
		1	2	3
Переміщення верхньої фундаментної плити	U_x^{max} , мм U_x^{min} , мм	3,93 -5,03	3,7 -4,68	4,18 -5,4
Навантаження на колодки упорного підшипника	P_x^{max} , Т	–	92,2	97,5
	σ_x^m , МПа	–	3,6	3,8
Прискорення верхньої фундаментної плити	a_x^{max} , м/с ²	0,162	0,148	0,182
	a_x^{min} , м/с ²	-0,145	-0,137	-0,162
Переміщення другого конденсатора	U_y^{max} , мм	8,0	7,98	8,0
Навантаження на пружні елементи другого конденсатора	P_x^{max} , Т	46,1	46,1	46,1
Навантаження на шпонки корпусу упорного підшипника	P_x^{max} , Т	–	–	68,5
	P_y^{max} , Т	–	–	22,0
Переміщення упорного підшипника	U_x^{max} , мм	–	4,98	5,2
	U_x^{min} , мм	–	-6,25	-6,75
Прискорення упорного підшипника	a_x^{max} , м/с ²	–	0,176	0,186
	a_x^{min} , м/с ²	–	-0,182	-0,205
Переміщення ЦНТ2	U_x^{max} , мм	–	–	4,05
	U_x^{min} , мм	–	–	-5,23
Переміщення РНТ2	U_x^{max} , мм	–	5,03	5,73
	U_x^{min} , мм	–	-6,33	-7,4

Третій варіант розрахункової схеми найбільш повно відображає конструктивні та динамічні особливості системи ТФО. Для нього і проводилися дослідження сейсмічного впливу, представленого трьома видами акселерограм (рис.4). При цьому виділявся відрізок часу, коли

сейсмічне збурення має найбільшу інтенсивність: для акселерограми №1 цей час складає від 22 до 50 с, №2 – від 70 до 95 с, а №3 – від 0 до 20 с. Результати розрахунків системи ТФО К-1100-5,9/25 для трьох варіантів акселерограм наводяться в табл. 3.



Таблиця 3

Переміщення і прискорення в точках системи ТФО з максимальними значеннями для різних акселерограм

	U_{max} , мм			a_{max} , m/s^2		
	Акселерограма					
	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Верхня плита	7,18	5,4	7,15	1,32	0,182	2,5
Упорний підшипник	9,15	6,75	9,18	1,73	0,186	3,0
Корпус ЦВТ	8,28	6,15	8,23	1,543	0,182	2,85
Ротор ЦВТ	9,6	7,28	9,58	1,803	0,197	3,3
Корпус ЦНТ-2	6,8	5,23	6,7	1,225	0,178	2,208
Ротор ЦНТ-2	9,83	7,4	9,8	1,855	0,201	3,35
Корпус генератора	6,45	4,98	6,35	1,153	0,170	2,625
Ротор генератора	9,95	7,45	9,93	1,885	0,203	3,55
Конденсатор 2	19,98	8,0	14,86	2,7	0,503	3,1

Важливе значення мають результати для тих частин системи ТФО, які найбільше відповідальні за працездатність конструкції під дією сейсмічних збурень. У табл. 4. наводяться значення максимальних зусиль у шпонках

кріплення корпусів на верхній фундаментній плиті, максимальні навантаження на пружні елементи другого конденсатора та на колодку упорного підшипника.

Таблиця 4

Максимальні зусилля в шпонках кріплення корпусів циліндрів і виносних підшипників на верхній фундаментній плиті

Назва пружного зв'язку	Зусилля, т	Акселерограма		
		№1	№2	№3
Шпонки корпусу упорного підшипника	P_x	114,4	68,5	160,7
	P_y	29,8	22,0	78,1
Шпонки корпусу ЦВТ	P_x	52,3	34,0	65,9
	P_y	18,5	12,8	52,5
Шпонки корпусу ЦНТ-2	P_x	31,3	22,5	40,3
	P_y	18,8	15,0	39,9
Шпонки корпусу генератора	P_x	77,4	58,2	97,6
	P_y	30,4	24,0	82,2
Навантаження на пружні елементи другого конденсатора	P_y	118,8	45,5	85,8
Навантаження на колодку упорного підшипника	P_x	168,1	97,5	255,1

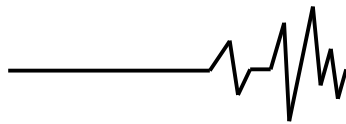
Максимальний тиск на колодки упорного підшипника не повинен перевищувати 15 МПа [2]. Для акселерограм №1 і №2 він становить відповідно 6,53 і 3,8 МПа, а для акселерограми №3 – 10,0 МПа. Це дозволяє зробити висновок, що під дією сейсмічних впливів такої інтенсивності дотримуються вимоги по міцності покриття упорного підшипника.

Таким чином, при однаковій бальності землетрусу сейсмічні збурення, представлені акселерограмами різного виду, мають різний вплив на систему ТФО. Це можна пояснити різними частотами збурення для акселерограм 1 – 3. Максимальні переміщення нижньої

фундаментної плити для всіх акселерограм не перевищують 0,3 мм.

Висновки

Дослідження сейсмічного впливу, представленого дією різних акселерограм, свідчать, що осьові зусилля на колодки упорного підшипника є найбільш небезпечними. Найбільше навантаженими являються поперечні шпонки корпусу упорного підшипника, напруження у інших шпоночних з'єднаннях мають значні запаси по міцності. Характер сейсмічного збурення, навіть при однаковій бальності землетрусу, істотно впливає на навантаження упорного підшипника



і шпонки в місцях кріплення корпусів на фундаменті.

Максимальні переміщення верхньої фундаментної плити, переважно як твердого тіла, і встановлених на ній елементів спостерігаються уздовж осі турбоагрегату, у поперечному напрямку вони на порядок менші. Найбільш податливими елементами є корпуси конденсаторів. Для зменшення їхньої податливості у горизонтальному напрямку доцільно встановити розкоси з труб. Доповнення розрахункової моделі вісьмома трубчатими розкосами показує, що переміщення конденсаторів зменшуються більше, ніж у 2 рази.

Переміщення роторів у напрямку осі турбоагрегату відносно корпусів циліндрів для акселерограм 1 – 3 становлять відповідно: для ЦВТ – 1,33; 1,12 і 1,33 мм, а для ЦНТ – 3,03; 2,13; 3,35 мм і для генератора – 3,5; 2,45 і 3,58 мм, що не перевищує нормативні значення (для ЦВТ – 2 мм, для ЦНТ – 5 мм). У поперечному напрямку переміщення роторів відносно корпусів мають на порядок менші значення і знаходяться в рамках допустимих.

Практична значимість одержаних результатів полягає у можливості їх використання при проектуванні елементів системи ТФО, здатних витримувати значні сейсмічні навантаження.

Список використаних джерел

1. Кендзера О. В. Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів. Практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України / О. В. Кендзера // Вісник НАН України. – 2015. – № 2. – С. 44 – 57.

2. РТМ 108.020.37-81. Оборудование атомных энергетических установок. Расчет на прочность при сейсмическом воздействии. – Введ. 04.06.81. – Ленинград : НПО ЦКТИ, 1981. – 39 с.

3. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. – М.: Госатомэнергонадзор СССР, 1987. – 10 с.

4. Огляд сучасних міжнародних підходів до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної небезпеки енергоблоків АЕС / Д. І. Рижов, О-й П. Шугайло, О-р П. Шугайло, Р. Я. Буряк, Л. В. Хамровська, Н І. Крицька // Ядерна та радіаційна безпека. – 2012. – № 4(56). – С. 23 – 26.

5. Гонтаровский П. П. Методика расчета динамики системы турбоагрегат-фундамент-основание энергоблоков при сейсмических воздействиях /

П. П. Гонтаровский, Н. Г. Гармаш, Н. Г. Шульженко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 8(1180). – С. 153–160. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.22.

6. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вильсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.

Список джерел в транслітерації

1. Kendzera O.V. Seismic hazard assessment and protection against earthquakes. Practical applications of developments of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine // Herald of the Academy of Sciences. – 2015. – № 2. – pp. 44 – 57.

2. The equipment of nuclear power plants. Calculation of the strength of the seismic impact: RTM 108.020.37- 81.-vved. 04.06.81. / L.: NPO TsKTI, 1981.-39.

3. ПНАЭ-Г-5-006-87. The rules of designing earthquake-resistant nuclear power plants. – М.: Gosatomenergonadzor USSR, 1987. – 10 с.

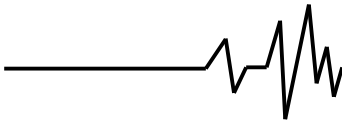
4. Review of current international approach to earthquake engineering and seismic hazard assessment of NPP/ D. I. Ryzhov, O-y P. Shuhaylo, O-r P. Shuhaylo, R. Ya. Buryak, L. V. Khamrov'ska, N I. Kryts'ka // Nuclear and Radiation Safety. – 2012. – № 4(56). – С. 23 – 26.

5. Goncharovskiy, P, Garmash, N. and Shulzhenko, N. (2016), "Methodology of calculation of the dynamics of the system turbine-foundation-base power units under seismic actions", Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment, no. 8(1180), pp. 153–160, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.08.22.

6. Bate K., Vilson E. Numerical methods of analysis and finite element method. М.: Stroyizdat, 1982. – 448 с.

ОЦЕНКА РЕАКЦИИ МОЩНОГО ТУРБОАГРЕГАТА НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Аннотація. Проведена оцінка реакції елементів потужного турбоагрегата атомної електростанції на сейсмічну навантаження, котра описується з використанням акселерограм реальних землетрясень. Розрахунки проводились з допомогою розробаного на основі методу кінцевих елементів програмного забезпечення. Всі елементи динамічної системи



турбоагрегат-фундамент-основание моделируются произвольно ориентированными стержнями и сосредоточенными массами с моментами инерции, которые соединяются между собой абсолютно жестко или с помощью линейных или нелинейных упруго-демпферных элементов. В стержневых элементах с распределенными параметрами учитываются все виды деформаций, которые имеют место при колебаниях. Исследования показали, что характер сейсмического нагружения, даже при одинаковой балльности землетрясения, существенным образом влияет на напряженность отдельных элементов системы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании элементов мощных турбоагрегатов атомных электростанций, способных выдерживать значительные сейсмические нагрузки.

Ключевые слова: турбоагрегат, фундамент, основание, сейсмическая нагрузка, акселерограмма, стержневой элемент, колебания.

ESTIMATION THE REACTION OF A POWERFUL TURBINE UNIT ON THE SEISMIC LOAD

Annotation. The creation of powerful turbine units of nuclear power plants requires an

assessment of the structure response to seismic action. For analysis of dynamic processes in the turbine units under seismic actions is necessary to be taken into account the interaction of the turbine unit and foundation. Method and software for analysis of turbine-foundation-base system under seismic action are proposed. The software package is based on the finite element method. The rod computational models for solve problems forced vibrations and transients shafting on complex elastic-damper supports are used. The foundation plates are modeled by of the rods grating that take into account elasticity and inertial properties of foundation elements. The lumped mass at the nodes of rods of foundation are used to account for the mass of the installed equipment and pipelines. The accelerations of foundation in three perpendicular directions are specified by using digitized real or synthesized accelerograms. The stresses in elastic connections, their maximum and minimum values and the time of their occurrence are determined for evaluation of strength of the turbine-foundation-base system. The results of analysis of powerful turbine for different design models are shown. These results may be used for design of resistant to seismic action nuclear powerful turbine units.

Key words: turbine, foundation, base, accelerogram, rod finite element, seismic action, vibration.