

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Шугайла Олександра Петровича**

на тему «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертаційної роботи Шугайла Олександра Петровича на тему «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» та розгляд його наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки, а також надати загальну оцінку виконаного дослідження.

**Актуальність теми дисертації.** Дисертаційна робота Шугайла Олександра Петровича присвячена розвитку методів оцінки безпеки об'єктів атомної енергетики України шляхом уточнення та вдосконалення підходів до оцінки міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів (СОКОіТ) енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) при сейсмічних навантаженнях.

Тема дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України та переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень та наукових розробок.

Сейсмічний вплив відноситься до одного з найнебезпечніших впливів природного характеру для енергоблоків АЕС, який може призвести до відмови із загальної причини. Події, які склались на АЕС «Фукусіма-1» у 2011 році, зумовили необхідність проведення поглиблених оцінок безпеки енергоблоків АЕС України, зокрема перевірки їх сейсмостійкості. Оскільки сейсмостійкість обладнання та трубопроводів енергоблоків АЕС визначається, в тому числі, сейсмостійкістю їх сталевих опорних конструкцій, тому гарантоване забезпечення сейсмічної міцності СОКОіТ

енергоблоків АЕС є вкрай актуальною задачею.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій** забезпечується строгістю використання основних положень механіки деформівного твердого тіла, коректністю формулювання фізико-механічних моделей досліджуваного класу конструкцій та логічною відповідністю методів дослідження стосовно сформульованої мети та задач дослідження.

**Достовірність основних положень роботи забезпечена:**

- точністю та достовірністю вихідних даних;
- врахуванням результатів сучасних репрезентативних досліджень сейсмологічних умов розташування промислових майданчиків ЗАЕС та ПАЕС;
- врахуванням фактичних геологічних умов основ реакторних відділень енергоблоків ЗАЕС та ПАЕС;
- використанням репрезентативних сейсмічних навантажень на СОКОіТ реакторних відділень ЗАЕС та ПАЕС;
- застосуванням фізико-математичних моделей СОКОіТ, які відображають дійсні (в тому числі особливі) умови їх роботи, враховують важливі для оцінки сейсмічної міцності особливості геометрії конструкцій, а також розподілу мас і жорсткостей;
- використанням ліцензійного розрахункового комплексу ANSYS та скінчено-елементних моделей СОКОіТ із оптимальним розміром скінчених елементів та перевіркою збіжності результатів розрахунків.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у такому:

- *вперше* визначені закономірності динамічних характеристик СОКОіТ енергоблоків АЕС в залежності від типової конструктивної форми, умов закріплення на конструктивній основі, а також особливих умов експлуатації;
- *вперше* визначені закономірності впливу приєднаного обладнання на

динамічні характеристики сталеві опорної конструкції. Встановлені особливості впливу зміни динамічних характеристик СОКОіТ на їх конструктивну безпеку;

– *вперше* встановлені закономірності зміни напружено-деформованого стану СОКОіТ в залежності від типових конструктивних форм та умов закріплення на конструктивній основі під час одночасної дії двох епізодичних впливів;

– *вперше* розроблені та науково обґрунтовані підходи щодо вибору раціональних СОКОіТ для кращого сприйняття сейсмічних навантажень;

– *удосконалено* основні положення методу граничних станів стосовно міцності СОКОіТ енергоблоків АЕС України за сейсмічних навантажень, а також під час одночасної дії двох епізодичних впливів;

– *удосконалено* критерії сейсмічної міцності СОКОіТ, а також числові значення коефіцієнтів умов роботи та відповідальності за ядерну та радіаційну безпеку;

– *удосконалено* підходи до складання розрахункових сполучень навантажень та їх конкретна номенклатура, що враховують особливі умови експлуатації СОКОіТ, а також ступень їх відповідальності щодо забезпечення безпеки АЕС під час та після сейсмічних впливів;

– *отримала подальшого розвитку* методика розрахунку СОКОіТ енергоблоків АЕС України при сейсмічних навантаженнях, а також при одночасній дії двох епізодичних впливів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що удосконалений метод граничних станів, а також розроблена методика можуть бути використані науковими, науково-дослідними, конструкторськими та експлуатуючими організаціями України, серед яких: «Київський науково дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування», «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом»,

«Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» тощо.

Результати дисертаційної роботи Шугайла О. П. впроваджені в межах розробки розрахункових обґрунтувань сейсмостійкості сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів АЕС України під час реалізації «Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 07.12.2011 № 1270» (ДП НАЕК «Енергоатом», вих. №2317/41-16 від 20.10.2022). Окрім цього результати роботи здобувача використані під час при проведенні Державних експертиз ядерної та радіаційної безпеки розрахункових обґрунтувань сейсмостійкості СОКОіТ енергоблоків АЕС України (ДП ДНТЦЯРБ, вих. № 230/1915 від 19.10.2022).

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях.** Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статей у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus та віднесених до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії «Б».

Результати дисертаційного дослідження були апробовані на 3 наукових фахових конференціях, а також додатково висвітлені в 1 монографії.

Таким чином, наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

**Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення**

Представлена на рецензію дисертаційна робота написана українською мовою та оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертація складається з переліку скорочень та позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 194 сторінки, у тому числі основна частина складає 124 сторінок, список використаних джерел – 16 сторінок і додатки – 15 сторінок.

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційного дослідження, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета та завдання дослідження, об'єкт, предмет і методи дослідження, а також наукова та практична новизна отриманих результатів. Описано особистий внесок здобувача та представлена інформація щодо апробації результатів дисертаційних досліджень та публікацій.

У **першому розділі «Огляд існуючих підходів до оцінки міцності сталевих конструкцій»** висвітлені особливості підходів до забезпечення сейсмостійкості елементів АЕС, які є відмінними від підходів до оцінки сейсмостійкості загальнопромислових об'єктів. Розглянуто існуючі національні та сучасні міжнародні методи оцінки сейсмостійкості конструкцій. Визначені особливості сучасної концепції розвитку нормативно-правової бази України щодо забезпечення безпеки АЕС. Проаналізовані сучасні національні та європейські (Єврокоди) підходи до розрахунків конструкцій на міцність, в тому числі сейсмічну. Окреслені недосконалості державних будівельних норм в частині використання їх положень під час оцінки сейсмічної міцності СОКОіТ енергоблоків АЕС України.

У **другому розділі «Розроблення фізико-математичної моделі сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних електростанцій»** висвітлені особливі умови експлуатації СОКОіТ енергоблоків АЕС, які обумовлені одночасною дією двох епізодичних впливів як землетрус та максимальна проектна аварія на енергоблоці АЕС. Виконано аналіз геологічних умов розташування енергоблоків АЕС України, а також представлені результати сучасних сейсмологічних досліджень їх

промислових майданчиків.

Розроблена фізико-математична модель СОКОіТ типових конструктивних форм, наведені використані гіпотези щодо властивостей матеріалів та характеру деформацій. При цьому враховано фактичні геологічні та сейсмологічні умови експлуатації СОКОіТ шляхом використання репрезентативних сейсмічних навантажень, визначених на підставі фактичних рівнів сейсмічної небезпеки майданчиків ЗАЕС та ПАЕС із врахуванням взаємодії «грунт – конструкція». Розроблені комбінації розрахункових навантажень, які діють на СОКОіТ енергоблоків АЕС під час особливих умов експлуатації. Виконано скінченно-елементне моделювання СОКОіТ типових конструктивних форм з використанням обчислювального комплексу ANSYS.

**У третьому розділі «Дослідження власних коливань і напруженодеформованого стану сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних електростанцій»** на підставі виконаних чисельних досліджень скінченно-елементних моделей типових конструктивних форм СОКОіТ отримані закономірності зміни напруженодеформованого стану та динамічних характеристик СОКОіТ залежно від умов закріплення на конструктивній основі та особливих умов експлуатації під час сейсмічних навантажень та одночасної дії двох епізодичних впливів. Виконано оцінку впливу приєднаного обладнання на динамічні характеристики сталеві опорної конструкції; досліджено вплив зміни технологічних умов експлуатації та вплив зміни умов закріплення сталевих опорних конструкцій на їх міцність при сейсмічних навантаженнях; розроблено та науково обґрунтовано підходи щодо вибору раціональних СОКОіТ для кращого сприйняття сейсмічних навантажень.

**У четвертому розділі «Вдосконалення підходів до оцінки міцності сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних електростанцій при сейсмічних навантаженнях»** на підставі виконаних числових досліджень динамічних характеристик та напружено-

деформованого стану досліджуваного класу конструкцій розроблені та науково обґрунтовані пропозиції щодо розвитку основних положень методу граничних станів по відношенню до СОКОіТ енергоблоків АЕС при сейсмічних навантаженнях, а також під час одночасної дії двох епізодичних впливів, які враховують особливі умови експлуатації СОКОіТ та ступень їх відповідальності щодо забезпечення безпеки АЕС під час та після сейсмічних впливів. Для СОКОіТ науково обґрунтовано нові критерії сейсмічної міцності, а також отримані числові значення коефіцієнтів умов роботи та відповідальності за ядерну та радіаційну безпеку. В розвиток нормативно-правових актів з ядерної та радіаційної безпеки, а також державних будівельних норм розроблена методика оцінки міцності СОКОіТ при сейсмічних навантаженнях.

**Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі.** У процесі аналізу змісту й структури дисертації виникли такі зауваження змістовного характеру:

1. Для виконання чисельних досліджень динамічних характеристик (мод та значень частот власних коливань) СОКОіТ типових конструктивних форм здобувачем були запропоновані фізико-математичні моделі досліджуваного класу конструкцій. При цьому в якості кінематичних граничних умов розглядалось як шарнірне примикання СОКОіТ до конструктивних основ РВ енергоблоків АЕС, коли в'язі накладались лише на лінійні переміщення опорних вузлів (ГУ 1), так і жорстке примикання СОКОіТ до конструктивних основ РВ, коли в'язі накладались як на лінійні, так і на кутові переміщення (ГУ 2). Проте у роботі не розглянуто конструктивне рішення опорного закріплення СОКОіТ до конструктивних основ реакторного відділення енергоблоків АЕС, з чого важко зробити висновок наскільки коректно обирались кінематичні граничні умови.

З іншого боку, виконані здобувачем чисельні дослідження впливу зміни кінематичних граничних умов на напружено-деформований стан

СОКОіТ при сейсмічних навантаженнях, засвідчили високу чутливість отриманих результатів до обраних кінематичних граничних умов. Так, здобувачем встановлено, що зміна граничних умов призводить до збільшення сейсмічних напружень внаслідок зменшення загальної жорсткості сталевий опорної конструкції. Зокрема, для типу СОКОіТ «стельовий каркас» максимальні зведені напруження збільшились практично вдвічі (табл. 3.31, 3.32). З огляду на це, питання відповідності прийнятих кінематичних граничних умов до фактичного конструктивного рішення опорного закріплення СОКОіТ потребує подальшого розгляду.

2. У роботі здобувачем запропоновані коефіцієнти сполучень для навантажень, які розглядаються в складі особливої (аварійної) комбінації (табл. 2.10 на стор. 87 і табл. 4.3 на стор. 152). Відповідно до ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах» коефіцієнти сполучення навантажень при формуванні аварійної комбінації приймаються як: 1 – для особливого (аварійного) навантаження, 0,95 – для постійних навантажень, 0,8 – для довготривалих навантажень та 0,5 – для короткочасних навантажень. Натомість здобувач запропонував використовувати коефіцієнти сполучення: 1 – для постійних та епізодичних навантажень, 0,95 – для довготривалих навантажень та 0,8 – для короткочасних навантажень. У дисертаційній роботі не достатньо висвітлено питання отримання запропонованих здобувачем числових значень цих коефіцієнтів сполучень.

З іншого боку, цільове призначення коефіцієнтів сполучення навантажень – це врахування малої імовірності одночасної реалізації розрахункових значень декількох навантажень. З огляду на це вбачається більш виправданим підхід, коли коефіцієнт сполучення, що відповідає основному за ступенем впливу довготривалому навантаженню приймається рівним 1,0, а коефіцієнти сполучень для інших довготривалих навантажень приймаються рівними 0,95. Аналогічно коефіцієнт сполучення, що відповідає основному за ступенем впливу короткочасному навантаженню приймається рівним 1,0, а коефіцієнти сполучень для інших короткочасних навантажень



приймаються рівними 0,8.

3. Відповідно до п. 6.5.4 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах» при перевірці несучої здатності елементів металевих конструкцій на міцність та стійкість (тобто за першою групою граничних станів) необхідно враховувати підвищення механічних властивостей матеріалу при високих швидкостях завантаження. Зокрема, для сталевих конструкцій таке підвищення механічних властивостей матеріалу при високих швидкостях завантаження враховується за допомогою коефіцієнта  $m$  (табл. 6.13 ДБН В.1.1-12:2014), на який понижуються розрахункові значення внутрішніх зусиль, обумовлених дією лише сейсмічної складової навантаження. Проте у дисертаційній роботі здобувача підвищення механічних властивостей сталі при перевірках СОКОІТ за першою групою граничних станів не враховується, що свідчить про певну консервативну оцінку міцності при сейсмічних навантаженнях для розглянутого класу конструкцій та про що слід було б наголосити у роботі.

4. Для оцінки сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів АЕС здобувач використовує методику граничної сейсмостійкості, яка оперує інтегральним параметром сейсмостійкості, що залежить від так званого коефіцієнту сейсмічного запасу FS. Останній показує у скільки разів потрібно збільшити інтенсивність сейсмічного впливу на ґрунті, щоб досягти допустимої величини оцінюваного параметра (див. формулу (1.15) на стор. 45). При обчисленні коефіцієнту сейсмічного запасу FS для перерізу СОКОІТ, в якому одночасно діють згинальні моменти, поздовжня та поперечні сили, здобувач використав не тотожні математичні перетворення, що призвело до втрати фізичного змісту коефіцієнту сейсмічного запасу FS (див. формулу (4.6) на стор. 145).

Вказані зауваження не знижують позитивної оцінки роботи, і можуть розглядатись як рекомендації для подальшої роботи в даному напрямку досліджень. Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та

не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Оцінка відповідності освітньо-науковій програмі підготовки.**

Протягом виконання дисертаційних досліджень Шугайло Олександр Петрович провів власне наукове дослідження, оформлене у вигляді дисертації, та опублікував основні його наукові результати.

Аналіз змісту дисертації та підсумків впровадження її результатів показав, що кваліфікаційна наукова робота здобувача Шугайла Олександра Петровича повністю відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КНУБА для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня підготовки фахівців за спеціальністю 192 – Будівництво і цивільна інженерія.

**Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...».** Дисертація Шугайла Олександра Петровича «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

**Дотримання принципів академічної доброчесності.** Дисертаційна робота Шугайла Олександра Петровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Загальний висновок про дисертаційну роботу**

У підсумку до викладеного вище можна стверджувати про високий рівень виконання здобувачем поставленого наукового завдання та глибоке

оволодіння методологією наукової діяльності.

Вважаю, що кваліфікаційна наукова праця «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія є завершеною і самостійно виконаною науковою працею, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати та відповідає вимогам пп. 5 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Шугайло Олександр Петрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

**Рецензент:**

Професор кафедри

металевих та дерев'яних конструкцій

Київського національного університету

будівництва та архітектури,

доктор технічних наук, професор

Віталіна ЮРЧЕНКО

*«Підпис В. В. Юрченко засвідчую»*

Вчений секретар Вченої ради КНУБА

к. т. н., доцент

Микола КЛИМЕНКО

Проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку

к. т. н., доцент



Олександр КОВАЛЬЧУК