

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу **ШУГАЙЛО ОЛЕКСАНДРА ПЕТРОВИЧА**
«РОБОТА СТАЛЕВИХ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ОБЛАДНАННЯ ТА
ТРУБОПРОВІДІВ АТОМНИХ СТАНЦІЙ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ
НАВАНТАЖЕННЯХ»

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Детальний аналіз дисертації Шугайло Олександра Петровича «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» та наукових публікацій дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, рекомендацій, наукової новизни та достовірності висновків, практичного значення, а також надати загальну оцінку дослідження.

Актуальність теми. Значна кількість країн світу потрапляє у зону підвищеної сейсмічної небезпеки. Об'єкти атомної енергетики потребують підвищеної уваги до оцінювання їх сейсмостійкості.

У розрізі удосконалення методів розрахунку об'єктів атомної енергетики на дію сейсмічних впливів і підвищення сейсмостійкості існуючих конструкцій атомних станцій, виникає питання вдосконалення підходів до оцінки міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів (СОКОіТ) енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) при сейсмічних навантаженнях.

Автором 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. Також в результаті поглибленого аналізу ДБН автор виявив, що пряме використання їх положень та підходів не може вважатися достатньо обґрунтованим та коректним по відношенню СОКОіТ енергоблоків АЕС. Встановлено, що ні ДБН ні Єврокоди не регламентують специфічні аспекти оцінки міцності, в тому числі сейсмічної, СОКОіТ енергоблоків АЕС.

У зв'язку з цим у роботі пропонується нова методика розрахунку СОКОіТ енергоблоків АЕС України при сейсмічних навантаженнях, а також при одночасній дії двох епізодичних впливів. Для СОКОіТ науково обґрунтовано нові критерії сейсмічної міцності, а також отримані числові значення коефіцієнтів умов роботи та відповідальності за ядерну та радіаційну безпеку. Методика розроблена в розвиток нормативно-правових актів з ядерної та радіаційної безпеки, а також державних будівельних норм.

Дисертація присвячена вирішенню наукової задачі розрахунку сейсмічної стійкості об'єктів атомної енергетики шляхом уточнення та вдосконалення підходів до оцінки міцності СОКОіТ енергоблоків АЕС при сейсмічних навантаженнях та їх поведінки при сейсмічних впливах.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджується точністю та достовірністю вихідних даних; 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. Рівень збіжності при порівнянні отриманих чисельних результатів свідчить про обґрунтованість прийнятих автором передумов і методів.

На підставі результатів виконаних досліджень розроблено та науково обґрунтовано підходи щодо вибору раціональних СОКОіТ для кращого сприйняття сейсмічних навантажень при температурах 60°C та 150°C реакторного відділення.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційного дослідження автора є аргументованими та змістовними і свідчать про високий рівень наукової підготовки дисертанта.

Достовірність основних положень роботи забезпечена шляхом виконання чисельних досліджень і застосування сучасних методів аналізу роботи та розрахунку сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів (СОКОіТ); врахуванням результатів сучасних репрезентативних досліджень сейсмологічних умов розташування промислових майданчиків АЕС; врахуванням фактичних геологічних умов основ реакторних відділень енергоблоків ЗАЕС та ПАЕС; використанням репрезентативних сейсмічних навантажень на СОКОіТ реакторних відділень ЗАЕС та ПАЕС.

Достовірність наукових положень, висновків та результатів дисертаційної роботи доведено позитивною оцінкою отриманих результатів на міжнародних конференціях і в рецензованих наукових фахових виданнях, а також результатами впровадження в державні підприємства Науково-технічний центр Національної атомної енергогенеруючої компанії «ЕНЕРГОАТОМ»; державний Науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки.

Враховуючи всі вищенаведені аргументи можна зробити позитивний висновок щодо наукової обґрунтованості і достовірності отриманих основних положень дисертаційного дослідження, а також їх відповідності заявленим меті та завданням.

Науковою новизною одержаних результатів слід вважати наступне:

1) Визначено закономірності динамічних характеристик СОКОіТ енергоблоків АЕС від різних факторів, таких як типова конструктивна форма, умови закріплення, особливі умови експлуатації, вплив приєднаного обладнання;

2) 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;

Удосконалено:

3) основні положення методу граничних станів стосовно міцності СОКОіТ енергоблоків АЕС України за сейсмічних навантажень, а також під час одночасної дії двох епізодичних впливів та підходи до складання розрахункових сполучень навантажень та їх конкретна номенклатура, що враховують особливі умови експлуатації СОКОіТ,

4) критерії сейсмічної міцності СОКОіТ, а також числові значення коефіцієнтів умов роботи та також ступень їх відповідальності щодо забезпечення безпеки АЕС під час та після сейсмічних впливів;

Отримала подальшого розвитку:

5) методика розрахунку СОКОіТ енергоблоків АЕС України при сейсмічних навантаженнях, а також при одночасній дії двох епізодичних впливів.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає:

– у спрямованості дослідження на вирішення задачі забезпечення сейсмостійкості об'єктів АЕС, а саме у вдосконаленні методики розрахунку СОКОіТ енергоблоків АЕС України при сейсмічних навантаженнях, а також при одночасній дії двох епізодичних впливів; розробці та обґрунтуванні підходів щодо вибору раціональних СОКОіТ для кращого сприйняття сейсмічних навантажень;

– у розробці методики врахування температурно-вологісного та радіаційного впливу на конструктивні та міцнісні характеристики СОКОіТ; методики раціонального проектування підвищення сейсмостійкості енергоблоків АЕС України.

Оцінка наукових публікацій

За темою дисертації опубліковано 12 робіт. Основні результати дослідження викладені у 6-и статтях у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Scopus, 1 стаття у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «Б». Одна робота представлена у вигляді двох розділів, підготовлених здобувачем у колективній монографії. Три роботи представлені як тези доповідей у національних та міжнародній науково-технічних конференціях, ще одна робота – як тези доповіді на міжнародному науково-педагогічному стажуванні за кордоном.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії». Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації. Вважаю, що дисертація пройшла належну апробацію.

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

Дисертаційна робота має класичну структуру: вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел (124 найменувань) та додатків на 14 сторінках. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 194 сторінок друкованого тексту, основний її зміст викладено на 143 сторінках, в роботі присутні: 48 таблиць, 39 рисунків.

Дисертація написана українською мовою, її структура та оформлення відповідають установленим вимогам. Вона характеризується єдністю змісту.

Конкретно сформульовано мету і задачі досліджень, визначено предмет і об'єкт дослідження, вказано наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів.

У *вступі* наведена загальна характеристика дисертаційної роботи, автором обґрунтовано актуальність задачі; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень; наведено зв'язок із державними науковими програмами та особистий внесок здобувача; описано новизну, практичне значення результатів, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження.

У *першому розділі* проведено огляд і аналіз науково-технічної літератури, в якій розглянуто стан світового досвіду у наукових дослідженнях та нормативних документах з оцінювання сейсмостійкості енергоблоків АЕС України. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що в Україні інформація щодо заходів сейсмосахисту не може вважатися достатньо обґрунтованою та коректною по відношенню СОКОіТ енергоблоків АЕС. Також відсутні документи, які регламентують критерії сейсмічної міцності та методики оцінки напружено-деформованого стану СОКОіТ енергоблоків АЕС з урахуванням особливих умов їх експлуатації, а також ступеню їх відповідальності щодо забезпечення безпеки АЕС під час та після сейсмічних впливів.

За загальними висновками щодо літературного аналізу розкрита суть проблеми і сформульовані мета та задачі дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* дисертаційної роботи автор розкриває особливі умови експлуатації СОКОіТ енергоблоків АЕС, які обумовлені одночасною дією таких двох епізодичних впливів як землетрус та максимальна проектна аварія «Двосторонній розрив головного циркуляційного трубопроводу Ду 850» на енергоблоці АЕС.

Проаналізовані геологічні умови розташування енергоблоків АЕС України, а також результати сучасних додаткових сейсмологічних досліджень їх промислових майданчиків. Врахування фактичних геологічних та сейсмологічних умов експлуатації СОКОіТ здійснено шляхом використання репрезентативних сейсмічних навантажень (поверхових спектрів відгуку), які визначені на підставі фактичних рівнів сейсмічної небезпеки майданчиків ЗАЕС та ПАЕС із врахуванням взаємодії «ґрунт-конструкція».

Схвалення заслуговує фізико-математична модель напружено-деформованого стану СОКОіТ.

Обґрунтовано, що розроблена фізико-математична модель СОКОіТ енергоблоків АЕС: відображає дійсні умови їх роботи; враховує важливі для оцінки сейсмічної міцності особливості геометрії конструкцій, структури та

властивості матеріалів, а також розподілу мас і жорсткостей; представляє конструкції як єдині просторові системи; враховує чинники, що визначають напружено-деформований стан, особливо характер їх деформацій.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи автором представлені результати дослідження динамічних характеристик сталеві опорної конструкції шляхом отримання ряду закономірностей. Автором доведено вплив типової конструктивної форми, умов закріплення на конструктивній основі, а також особливих умов експлуатації, приєднаного обладнання на динамічні характеристики сталевих опорних конструкцій, що в свою чергу впливає на здатність конструкцій СОКОіТ протистояти сейсмічним навантаженням.

Для моделювання та аналізу впливів різних чинників на сейсмічну здатність СОКОіТ розглянуто 64 варіаційних скінчено-елементних моделі.

Доведено, що розрахункові напруження від сейсмічних навантажень можуть підвищуватися у 1,5–3 рази в залежності від висотної відмітки розташування СОКОіТ в реакторному відділенні енергоблоків ЗАЕС, ПАЕС та сягати значень приблизно від 1 МПа до 96 МПа для різних типових конструктивних форм. Такий суттєвий розкид значень сейсмічних напружень в СОКОіТ різних типових конструктивних форм обумовлений кардинально різними спектрами значень частот власних коливань конструкцій та, відповідно, значним розкидом значень сейсмічних навантажень (сейсмічні прискорення змінюється від $4,8 \text{ м/с}^2$ до $22,7 \text{ м/с}^2$).

Виконані чисельні дослідження свідчать про суттєвий вплив розглянутих чинників на конструктивну безпеку СОКОіТ.

Ґрунтуючись на отриманих результатах автором розроблено та науково обґрунтовано підходи щодо вибору раціональних СОКОіТ для кращого сприйняття сейсмічних навантажень.

Четвертий розділ присвячений пошуку найбільш раціонального і ефективного способу підвищення сейсмостійкості СОКОіТ енергоблоків АЕС та розробці методики розрахунку СОКОіТ енергоблоків АЕС України при сейсмічних навантаженнях, а також при одночасній дії двох епізодичних впливів. В тому числі викликають інтерес науково обґрунтовані нові критерії сейсмічної міцності, а також отримані числові значення коефіцієнтів умов роботи та відповідальності за ядерну та радіаційну безпеку Для СОКОіТ. Методика розроблена в розвиток нормативно-правових актів з ядерної та радіаційної безпеки, а також державних будівельних норм.

На увагу також заслуговують розроблені рекомендації щодо розвитку основних положень методу граничних станів по відношенню до СОКОіТ енергоблоків АЕС за сейсмічних навантажень, а також під час одночасної дії двох епізодичних впливів. Суттєвою перевагою розроблених вдосконалень в порівнянні із положеннями методу граничних станів, регламентованими державними будівельними нормами, є те, що вони враховують особливі умови експлуатації СОКОіТ та ступень їх відповідальності щодо забезпечення безпеки АЕС під час та після сейсмічних впливів.

У загальних висновках відповідно до поставлених завдань сформульовано основні наукові результати даного дослідження.

Додатки містять ескіз реакторного відділення енергоблоку з реакторними установками ВВЕР-1000/В-302, В-338, рисунки з огинаючими поверховими спектрами відгуку на різних відмітках енергоблоків ЗАЕС та ПАЕС, опис деяких підходів до визначення навантажень на сталеві опорні конструкції від розташованих на них трубопроводів та обладнання, список опублікованих праць автора, відомості про впровадження результатів дисертаційної роботи.

В цілому ж, в роботі можна відмітити послідовність і логічність викладення інформації. Робота є завершеною самостійною науковою працею, достатньо добре оформленою.

До основних здобутків роботи слід віднести:

- розвинуто та вдосконалено методикау та алгоритм визначення сейсмостійкості сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів АЕС при одночасній дії двох епізодичних впливів;

- визначені закономірності динамічних характеристик сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС в залежності від типової конструктивної форми, умов закріплення на конструктивній основі, а також особливих умов експлуатації, впливу приєднаного обладнання;

- отримали подальшого розвитку уявлення про закономірності зміни напружено деформованого стану конструкцій в залежності від типових конструктивних форм та умов закріплення на конструктивній основі під час одночасної дії двох епізодичних впливів;

- розроблені та науково обґрунтовані підходи щодо вибору раціональних СОКОіТ для кращого сприйняття сейсмічних навантажень;

- отримали подальшого розвитку та удосконалені основні положення методу граничних станів стосовно міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС України за сейсмічних навантажень, а також під час одночасної дії двох епізодичних впливів; критерії сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів та підходи до складання розрахункових сполучень навантажень, а також числові значення коефіцієнтів умов роботи та відповідальності за ядерну та радіаційну безпеку.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО РОБОТІ

1. Перший та другий розділ дисертації переобтяжений загальновідомою інформацією. В табл.2.1-2.6, 2.8, 2.9 представлена довідкова інформація щодо опису фізичних та механічних характеристик сталі, параметрів середовища АЕС, деталізовані характеристики ґрунтів, основні проектні режими роботи енергоблоку АЕС, номенклатура розрахункових навантажень. Цю інформацію варто було б помістити в додатки, або взагалі не розміщувати в дисертаційній роботі.

2. У третьому розділі доцільно було б порівняти результати статичного нелінійного розрахунку, отриманими при моделюванні в програмному комплексі ANSYS з аналогічними нелінійними розрахунками методом Pushover Analysis та іншими у програмному комплексі ЛІРА-САПР.

3. Слід було б розглянути варіанти моделей сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС з такими характеристиками, при яких точка стану будівлі виходить за межу їх лінійно-пружної роботи при дії сейсмічного навантаження. Також варто було б врахувати не тільки ґрунт, що є доречним, а й фактор старіння матеріалів.

4. На стор.94, рис. 2.13 надано опис скінченного елемента BEAM 189. Не зрозуміло чим відрізняється саме цей скінченний елемент від інших скінченних елементів.

5. При розробці скінчено-елементних моделей сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС типових конструктивних форм не ясно, чи враховувалися зміни межі пружності для матеріалів в залежності від швидкості прикладання навантаження. Сейсмічні навантаження характеризуються великою швидкістю, а пластичні та міцнісні властивості матеріалів мають збільшуватись у такому випадку.

6. Автор використав для аналізу розрахункові моделі у ПК ANSYS. На стор. 149 автор пропонує визначення параметру $HCLPF_{non-linear}^{ЗАЕС,ПАЕС}$ в нелінійній постановці. Алгоритм ітераційної процедури визначення коефіцієнту сейсмічного запасу $FS_{non-linear}^{ЗАЕС,ПАЕС}$ шляхом ітераційного збільшення вихідних поверхових спектрів відгуку наведений в підрозділі 4.3 розділу 4 дисертації. Але не зрозуміло чи автор враховує нелінійну роботу конструкцій в пластичній стадії та ефект пристосовуваності конструктивних елементів до збільшеного рівня сейсмічного навантаження. Доцільно було б виконати нелінійний розрахунок з використанням запропонованої методики розрахунку та з врахуванням фізичної та геометричної нелінійності, для коректної оцінки резервів несучої здатності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС.

7. В 4 розділі автор пропонує методику визначення сейсмостійкості сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС при одночасній дії двох епізодичних впливів.. Неясно чи автор використовує цю методику для оцінки сейсмостійкості елементів енергоблоків АЕС України (4 розділ), та для оцінки міцності СОКОіТ (3 розділ).

8. В дисертації відсутні посилання на базові теоретичні положення щодо оцінки сейсмостійкості, такі як метод Ньюмарка, динаміка в часі та інші.

9. Для оцінювання сейсмостійкості варто враховувати демпфуючі властивості ґрунту. В дисертації це не враховується.

Проте, зазначені зауваження не зменшують загального позитивного враження від представленої дисертації, вони мають переважно дискусійний характер. Отримані здобувачем результати не викликають сумніву, є науково обґрунтованими, мають наукову новизну і практичне значення. В цілому, робота заслуговує позитивної оцінки.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії ...»

Дисертація Шугайло Олександра Петровича «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних

навантаженнях» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», зокрема пп.5,6,7,8,9. Дисертація виконана з дотриманням правил академічної доброчесності. Є самостійною, завершеною науковою роботою. Отримані результати свідчать про значний внесок автора в науку.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційне дослідження Шугайло Олександра Петровича «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, яка повністю відображає основні теоретичні та практичні положення роботи, а також відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44, та напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми КНУБА з вищезазначеної спеціальності, а її автор Шугайло Олександр Петрович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних
технологій будівництва та
реконструкції аеропортів
Національного авіаційного університету
Міністерства освіти і науки України



Марія БАРАБАШ

Вірюши Барабаш завідує:
Директор
з навчально-випускних справ



Др. Анастасія Полужко