

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Шугайла Олександра Петровича**

на тему: «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

192 – будівництво та цивільна інженерія,

галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

Детальний аналіз дисертації Шугайла Олександра Петровича «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження**

Надійна робота об'єктів вітчизняного атомно-промислового комплексу є одним з головних факторів забезпечення енергетичної та екологічної безпеки країни. Сьогодні на АЕС України в експлуатації перебувають 15 енергоблоків. Відповідно до загальнодоступних даних, їхня загальна встановлена потужність дорівнює 13 835 МВт, що становить 26,3% від сумарної встановленої потужності всіх електростанцій України. Реалізація заходів з підвищення безпеки енергоблоків українських АЕС нерозривно пов'язана з питаннями їхньої надійності.

Надійність споруд визначається з урахуванням їх конструктивних особливостей, умов роботи, реологічних властивостей матеріалів, а також впливів техногенного та природного походження. До небезпечних процесів природного походження слід віднести: повені, зсуви, лісові та польові пожежі, урагани та смерчі, карсти та землетруси. Відповідно до ДБН В.1.1-12:2014, приблизно 90 % території України розташовано в складних інженерно-геологічних умовах. Це призводить до необхідності вивчення впливу сейсмічної активності на надійність будівельних об'єктів у цілому, гарантування безпеки цілості об'єктів і окремих їх частин. Аналіз останніх аварій на атомних електростанціях, зокрема на АЕС «Фукусіма-1» 08.04.2011, вказує на необхідність урахування можливості одночасної дії двох епізодичних впливів, зокрема сейсмічного та аварійного техногенного.

Доцільність вибору теми дослідження та її актуальність підтверджується тим, що вона відповідає Комплексній (зведеній) програмі підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій, затвердженій постановою

Кабінету Міністрів України від 07.12.2011 № 1270, та науковому напрямку кафедри.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій у Київському національному університеті будівництва і архітектури й відповідає напрямкам науково-дослідної держбюджетної теми МОН України «Розвиток теорії вибору раціональних ресурсозберігаючих конструкцій сталевих рам з використанням ефективних двотаврових профілів енергоекономічних будівель» (номер держреєстрації: 0121U111715), що виконується на підставі наказу КНУБА № 243 від 03.06.2021.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

Як наукову новизну слід відзначити встановлені автором закономірності зміни динамічних характеристик та напружено-деформованого стану для типових СОКОіТ енергоблоків АЕС залежно від умов закріплення на конструктивній основі, впливу приєднаного обладнання, а також особливих умов експлуатації. Автором також встановлено особливості впливу зміни динамічних характеристик СОКОіТ на їхню конструктивну безпеку. У роботі удосконалено основні положення методу граничних станів стосовно міцності СОКОіТ енергоблоків АЕС України за сейсмічних навантажень, а також за одночасної дії двох епізодичних впливів.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендації полягає в тому, що вони сформульовані здобувачем на основі врахування фактичних геологічних умов розташування енергоблоків ЗАЕС та ПАЕС, використання репрезентативних сейсмічних навантажень на СОКОіТ реакторних відділень ЗАЕС та ПАЕС, застосування фізико-математичних моделей СОКОіТ, які відображають дійсні умови їхньої роботи, і враховують важливі для оцінки сейсмічної міцності особливості геометрії конструкцій, а також розподіл мас і жорсткостей. Фізико-механічні властивості досліджуваних матеріалів визначали згідно з вимогами чинних норм та стандартів.

Достовірність результатів теоретичних розрахунків і експериментальних даних підтверджується їх взаємоузгодженням та кореляцією основних закономірностей досліджених процесів з даними інших дослідників.

Автором виконано достатньо широкий аналіз літературних джерел із досліджуваної тематики. Детально описано методику експериментальних досліджень. Дисертація вміщує достатню кількість розрахункових моделей,

графічного пояснювального матеріалу, таблиць. Це свідчить про ґрунтовний підхід до отриманих експериментальних результатів, достатню обумовленість висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

### **Практичне значення результатів досліджень**

Запропоновані в дисертації підходи до визначення критеріїв сейсмічної міцності СОКОіТ, складання розрахункових сполучень навантажень і їх конкретна номенклатура можуть бути використані для удосконалення державних будівельних норм України, а також відомчих нормативних документів, що стосуються оцінювання рівня безпеки об'єктів атомної енергетики. Зазначені підходи враховують особливі умови експлуатації СОКОіТ, а також ступінь їх відповідальності у забезпеченні безпеки АЕС під час та після сейсмічних впливів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені методики використовують наукові, науково-дослідні, конструкторські та експлуатаційні організації України, серед яких: Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки

### **Аналіз змісту та завершеності дисертації**

Дисертація, підготовлена Шугайлом О. П., складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (124 найменування) та п'ятих додатків. Загальний обсяг роботи становить 194 сторінки.

Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним і повною мірою відображає зміст дисертації та достатньо висвітлює її основні результати та висновки.

У вступі ґрунтовно викладено актуальність теми, науково сформульовано мету, яка відповідає обраній темі, та розкрито у завданнях, викладено об'єкт та предмет дослідження, публікації та апробацію наукових розробок.

*У першому розділі* автор досить ретельно проаналізував сучасні національні та європейські (Єврокоди) підходи до розрахунків конструкцій на міцність. Здобувач визначив особливості експлуатації сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів (СОКОіТ) АЕС та ступінь їх відповідальності у забезпеченні безпеки АЕС під час та після дії сейсмічних впливів. Це дозволило виявити недосконалості застосування державних будівельних норм для оцінки сейсмічної міцності СОКОіТ. Також у праці розглянуто теорії, а також вітчизняні та закордонні методи оцінки сейсмостійкості будівель і споруд, описано особливості їх застосування. На основі виконаного аналізу сформульовано цілі та завдання дисертаційної роботи.

*У другому розділі* наведено опис основних типових конструктивних рішень

СОКОіТ системи: стійка, консоль, стельовий та підлоговий каркаси. Відзначається, що матеріалом конструкції СОКОіТ є фасонний прокат та гнуті профілі з маловуглецевої сталі, які впродовж експлуатації перебувають під дією змінних температур і тиску. У розділі наведено фізико-механічні характеристики маловуглецевих сталей та визначено вплив температур експлуатації на значення модуля пружності магловуглецевих сталей. Автором детально описані проектні режими роботи енергоблоків АЕС та їхня допустима кількість, викладено особливості параметрів внутрішнього середовища АЕС для різних режимів експлуатації, зокрема режимів «малої» та «великої» течі. Також подано відомості щодо геологічної будови районів розташування атомних електростанцій України, визначено особливості поширення сейсмічних хвиль між шарами ґрунтів різної щільності, наведено пікові значення прискорення для горизонтальної складової руху ґрунту, огинаючи діапазони значень прискорень. На основі наведених даних сформульовано фізичні та математичні припущення, гіпотези й визначено навантаження для побудови моделей СОКОіТ методом скінченних елементів.

У *третьому розділі* наведено результати числового моделювання власних коливань сталевих опорних конструкцій трубопроводів і обладнання для умов енергоблоків ЗАЕС і ПАЕС. Відповідно до отриманих результатів було визначено, що найменші значення перших частот власних коливань характерні для СОКОіТ каркасних типів. Також з наведених залежностей (див. рис. 3.1, 3.2, 3.11 та інші) можна зробити висновок про те, що саме СОКОіТ каркасних типів є більш чутливими до впливу навантаження від приєднаного обладнання.

Автор проаналізував вплив змін технологічних умов на сейсмічну міцність СОКОіТ. Оцінка впливу виконувалася шляхом порівняння спектрів частот власних коливань і максимальних зведених напружень, обчислених для температур зовнішнього середовища 60 °С і 150 °С і за дії сейсмічного впливу, за умови врахування впливу навантаження від приєднаного обладнання.

На основі результатів числового моделювання було встановлено, що зміна граничних умов конструкцій СОКОіТ не суттєво впливає на спектр частот власних коливань, однак є відчутною для значень максимальних зведених напружень.

У *четвертому розділі* запропоновано удосконалення положень методу граничних станів стосовно конструкцій СОКОіТ енергоблоків АЕС. Обґрунтовано вибір коефіцієнта умов роботи  $\gamma_c$  та коефіцієнта надійності за відповідальністю  $\gamma_{nc/cI}, \gamma_{nc/cII}$  відповідно до характеру можливих експлуатаційних та сейсмічних навантажень, типів перерізу елементів СОКОіТ. Запропоновано новий підхід для автоматизованого розрахунку граничної сейсмостійкості СОКОіТ та надано відповідні алгоритми. На основі виконаних досліджень та запропонованих удосконалень методу граничних станів було

створено методику розрахунків СОКОіТ енергоблоків АЕС на дію двох епізодичних навантажень.

У дисертаційній роботі відсутні ознаки порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів має посилання на відповідне джерело.

### **Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях**

Основні результати, наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно відображено у 12 працях (з яких 2 – одноосібні): 6 статей у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Scopus, 1 стаття опублікована в науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «Б», 1 колективна монографія та 4 тези конференцій.

Праці Шугайла О. П. відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167. Наведені у дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях різного рівня, де доповідалися основні положення та результати досліджень.

### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації**

Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, слід вказати на певні дискусійні положення та зауваження, а саме:

I. У другому розділі подано досить повний та докладний опис геологічних умов майданчиків будівництва атомних електростанцій України, проте будь-якої інформації про гідрологічні умови, на жаль, немає. Водночас відомо, що саме ґрунтові води можуть стати причиною ліквідації ґрунту – процесу, внаслідок якого ґрунт поводить себе не як тверде тіло, а як густа рідина. У ньому при цьому знижуються ефективні напруження та досягаються критичні значення прискорень.

II. Реакція будівель і споруд на сейсмічні навантаження значною мірою залежить від наявності штучних основ та споруд інженерного протисейсмічного захисту. Тому дані про існуючі протисейсмічні заходи необхідні для більш повного розуміння особливостей результатів репрезентативних досліджень сейсмологічних умов розташування промислових майданчиків АЕС.

III. Потребує додаткового обґрунтування вибір програмного комплексу розрахунку методом скінченних елементів. З огляду на те що відповідно до технологічних умов матеріал конструкцій працює виключно в пружній стадії, ознаки геометричної нелінійності елементів конструкцій відсутні, а температурний вплив враховувався шляхом зниженням модуля пружності, такі

моделі цілком могли бути реалізовані у вітчизняних комплексах SCAD Office і Ліра Софт.

IV. У розділі 3 кількість форм власних коливань, що аналізуються, є змінною. Так, у підрозділі 3.1 розглянуто 7 форм власних коливань, у підрозділі 3.2 в табл. 3.10 – 2 форми, у табл. 3.11 – 4 форми коливань, а в табл. 3.12 – 3 форми коливань. Тому виникає питання, наскільки повно обрана кількість форм коливань відбиває енергетичні співвідношення в досліджуваних системах та яка сума ефективних модальних мас для обраної кількості форм.

V. При виконанні модального аналізу СОКОіТ, окрім кількісної оцінки власних частот та значень власних форм коливань, слід приділяти увагу і якісним показникам, а саме типам коливальних рухів – поступальні, згинальні або крутильні, тому що саме вони є зовнішнім збуренням для рідин і газів, що транспортуються трубопроводами.

VI. При дослідженні впливу граничних умов на модальні характеристики СОКОіТ бажано було б навести приклад конструктивного рішення їх кріплення до основи. Також потребують додаткового пояснення результати, наведені на с.129 в табл. 3.27 і 3.28. Чому зміна граничних умов не впливає на значення власних частот за другою формою коливань та які коливальні рухи відповідають другій формі?

VII. У типових конструкціях СОКОіТ типів «стійка та підлоговий каркас наявні елементи, що працюють на стиск. Граничним станом таких елементів є втрата стійкості, що настає при напруженнях, менших за межу плинності. На жаль, з тексту дисертаційної роботи не відомо, яким чином враховувалося це явище при визначенні сейсмічної міцності елементів СОКОіТ типів «стійка та підлоговий каркас.

VIII. На с. 147 рис. 4.2 наведено блок-схему алгоритму обчислення коефіцієнта сейсмічного запасу. Враховуючи виняткову відповідальність досліджуваних об'єктів, чи не розглядалася можливість імплементації запропонованого методу у вітчизняних програмних комплексах?

Наведені зауваження не знижують наукової і практичної цінності дисертаційної роботи Шугайла О. П. і не впливають на її загальну позитивну оцінку.

### **Загальний висновок**

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що дослідження Шугайла Олександра Петровича «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» є завершеним самостійним науковим дослідженням.

За рівнем наукової новизни отриманих результатів та їхнього практичного

значення дисертація «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» є закінченою роботою, містить наукову новизну, має теоретичне та практичне значення, розв'язані в роботі задачі мають істотне значення для будівельної галузі знань та відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) і «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а її автор Шугайло Олександр Петрович заслуговує присудження наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри цивільної інженерії,  
технологій будівництва та захисту довкілля,  
Дніпровського державного  
аграрно-економічного університету



Вікторія ВОЛКОВА

Підпис д.т.н., професора Волкової Вікторії «засвідчую»

Вчений секретар  
Дніпровського державного  
аграрно-економічного університету

Олена БЕРЕЗА

