

Рішення спеціалізованої вченої ради про присудження
ступеня доктора філософії

Спеціалізована вчена рада разового захисту ДФ 01.192 Київського національного університету будівництва і архітектури, Міністерства освіти і науки України, м. Київ, прийняла рішення про присудження Шугайлу Олександр Петровичу ступеня доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво на підставі прилюдного захисту дисертації «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія 04 травня 2023 року.

Шугайло Олександр Петрович, 1981 року народження, громадянин України, освіта повна вища. У 2004 році закінчив Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» та здобув кваліфікацію магістра інженерної механіки за спеціальністю «Динаміка і міцність машин».

В 2021 році вступив до аспірантури Київського національного університету будівництва і архітектури (заочна, контрактна форма навчання). Працює в Державному підприємстві «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» на посаді начальника відділу до цього часу.

Дисертацію виконано у Київському національному університеті будівництва і архітектури, МОН України, м. Київ.

Науковий керівник: Білик Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури.

Основні положення, результати і висновки дослідження викладені здобувачем у 12 наукових працях, у тому числі: 6 статей у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Scopus; 1 колективна монографія; 1 стаття в науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «Б»; 3 тези наукових доповідей у національних та міжнародній науково-технічних конференціях та 1 теза наукової доповіді в рамках міжнародного науково-педагогічного стажування, зокрема:

1. Shugaylo O-r P., Bilyk S.I. Research of the stress-strain state for steel support structures of nuclear power plant components under seismic loads. *Nuclear and radiation safety*. 2022. С. 15-26. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3\(95\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.3(95).02).

2. Шугайло О-р П., Білик С.І., Вплив зміни технологічних умов експлуатації сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів енергоблоків атомних станцій на їх сейсмічну міцність. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2022. № 1(93). С. 62-70. doi: 10.32918/nrs.2021.1(93).07.

3. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Загальні принципи оцінки сейсмічної міцності сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів атомних станцій відповідно до нормативних вимог. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2021. № 4(92). С. 4-11. doi: 10.32918/nrs.2021.4(92).01.

4. Буряк Р. Я., Рижов Д. І., Городніченко О. В., Шугайло О-р П., Шугайло О-й П., Мустафін М. А., Підгаецький Т. В. Оцінка сейсмостійкості енергоблоків АЕС України із застосуванням положень НП 306.2.208-2016. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2020. № 2(86), С. 13-19. doi: 10.32918/nrs.2020.2(86).02.

5. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Жабін О. І., Данильчук Є. Л., Трусів І. О., Посох В. О., Куров В. О. Методологічні підходи до визначення необхідності врахування різних технологічних умов експлуатації елементів енергоблоків АЕС під час оцінки їх сейсмостійкості відповідно до нормативних вимог. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2021. № 3(91). С. 5-10. doi: 10.32918/nrs.2021.3(91).01.

6. Шугайло О-р П., Рижов Д. І., Сахно О. В., Павлів Є. А., Хамровська Л. В. Щодо вимог до сполучень навантажень під час оцінки сейсмостійкості конструкцій, систем та елементів непрямими методами. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2020. № 1(85). С. 56-61. doi: 10.32918/nrs.2020.1(85).06.

7. Oleksandr P. Shugaylo, Serhii I. Bilyk. The specifics of the compilation of the calculated load combinations in the assessment of seismic resistance of steel supporting structures of nuclear power plant equipment and piping. *Journal of Mechanical Engineering – Problemy mashynobuduvannia*, 2022, vol. 25, № 3. P. 6–15. <https://doi.org/10.15407/pmach2022.03.006>.

Повнота викладення основних теоретичних положень дослідження відповідає вимогам, що пред'являються до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії.

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради:

СОЛОДЕЙ Іван Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури, поставив такі запитання:

1. Ви говорите про умови експлуатації розглядуваних конструкцій. При цьому, вказуєте на сейсмічні та температурні навантаження. В доповіді у Вас представлені також вологісні та радіаційні умови. Скажіть, будь ласка, яким чином вони впливають на роботу конструкцій та як Ви їх враховуєте?

2. Скажіть, будь ласка, які скінчені елементи (стержневі або пластинчасті) Ви використовували в розроблених скінчено-елементних моделях розглядуваних конструкцій та яка кількість цих елементів?

3. Коли ми говоримо про критерії міцності конструкцій, ми традиційно оперуємо деформативним, міцнісним критеріями та критерієм стійкості. Ви говорите про наукове обґрунтування нового критерія сейсмічної міцності. Розкрийте будь-ласка новизну цього критерія і базу його наукового обґрунтування.

4. Яким чином враховуються температурні впливи. Чи допускається нерівномірний нагрів, як окремих елементів так і по товщині елемента конструкції? Відомо, що це досить суттєво може впливати на напружено-деформований стан.

5. В дисертаційній роботі є посилання тільки на Запорізьку та Піденноукраїнську АЕС. В Україні на сьогоднішній день діючих чотири. Це також Рівненська і Хмельницька атомні електростанції. Чим викликаний такий Ваш вибір.

ЮРЧЕНКО Віталіна Віталіївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, надала позитивну рецензію із зауваженнями:

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 короточасному навантаженню приймається рівним 1,0, а коефіцієнти сполучень для інших короточасних 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).

ВАБІЩЕВИЧ Максим Олегович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри будівельної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури, надав позитивну рецензію із зауваженнями:

1. В огляді літератури розглянута робота Н. Мононобе, пов'язана з теорією вимушених коливань. Однак в переліку використаних джерел дана праця відсутня.

2. В тексті дисертації часто зустрічається формулювання «межа плинності». З точки зору усталеності термінології краще було використати

термін «межа текучості».

3. В таблиці 2.11 наведені результати дослідження збіжності результатів розрахунку за параметром розміру скінченного елемента (CE) моделі. На основі дослідження обрана сітка з розміром CE 0,1 м, хоча відмінність результатів у порівнянні із величиною CE 0,15 м не перевищує 0,009 %. Отже, сітка з меншою кількістю CE не призводить до зниження достовірності розрахунків, але сприяє зменшенню обсягів операційної пам'яті та часу розрахунків.

4. По тексту дисертації не зовсім зрозуміло, чи досліджував автор можливість врахування переміщень опор конструкцій, зумовлених поведінкою конструктивних основ енергоблоків АЕС під час проходження сейсмічної хвилі.

БАРАБАШ Марія Сергіївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва і реконструкції аеропортів Національного авіаційного університету, надала позитивний відгук із зауваженнями:

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 скінчений елемент від інших скінчених 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 $HCLPF_{\text{non-linear}}^{\text{ЗАЕС, ПАЕС}}$ в нелінійній постановці. Алгоритм ітераційної процедури визначення коефіцієнту

сейсмічного запасу $FS_{\text{non-linear}}^{\text{ЗАЕС, ПАЕС}}$ 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.

ВОЛКОВА Вікторія Євгенівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля Дніпровського державного аграрно-економічного університету, надала позитивний відгук із зауваженнями:

1. 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.

2. 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.

3. Потребує додаткового обґрунтування вибір програмного комплексу розрахунку методом скінчених елементів. З огляду на те, що відповідно до технологічних умов матеріал конструкцій працює виключно у пружній стадії, ознаки геометричної нелінійності елементів конструкцій відсутні, а температурний вплив враховувався шляхом зниження модуля пружності, такі моделі цілком могли бути реалізовані у вітчизняних комплексах SCAD Office і Ліра Софт.

4. 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.

5. 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.

6. При дослідженні впливу граничних умов на модальні характеристики СОКОіТ бажано б було 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 як коливальні рухи відповідають другій формі?

7. 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 врахувалося це явище при визначенні сейсмічної міцності елементів СОКОіТ типів «стійка та підлоговий каркас.

8. 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?

На надані запитання та зауваження здобувач надав ґрунтовні та виважені відповіді.

Загальна оцінка роботи і висновок. Дисертаційне дослідження Шугайла Олександра Петровича на тему «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» є завершеною, самостійною та ґрунтовною науковою працею, має важливе науково-практичне значення у розвитку та покращенні методів оцінки безпеки об'єктів атомної енергетики України. Виконані теоретичні дослідження мають наукову і практичну цінність у встановлених закономірностях динамічних характеристик та напружено-деформованого стану сталевих опорних конструкцій обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС України під час сейсмічних навантажень та розробці нових підходів їх розрахунку і оцінки міцності, застосування яких забезпечує більш надійне та раціональне проектування означених сталевих конструкцій. Під час написання дисертації автором дотримано принципів академічної доброчесності.

За науковим рівнем і практичною цінністю, змістом і оформленням, кількістю та якістю здійснених наукових публікацій, дисертаційна робота «Робота сталевих опорних конструкцій обладнання та трубопроводів атомних станцій при сейсмічних навантаженнях» повністю відповідає вимогам 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 січня 2022 року, а її автор, Шугайло Олександр Петрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Результати відкритого голосування: «ЗА» – п'ять членів ради;
«ПРОТИ» – немає.

На підставі результатів відкритого голосування, спеціалізована вчена рада ДФ 01.192 Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, м. Київ, присуджує Шугайлу Олександр Петровичу ступінь доктора філософії в галузі знань 19 – Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Голова спеціалізованої вченої
ради разового захисту ДФ 01.192
доктор технічних наук, професор



Іван СОЛОДЕЙ