

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу **БАШИНСЬКОГО ОЛЕКСІЯ ВОЛОДИМИРОВИЧА**
«СТВОРЕННЯ ТА КРИТЕРІЇ РОБОТИ КОНСТРУКТИВНИХ МОДЕЛЕЙ СТАЛЕВИХ
БАЛОК ІЗ ВОГНЕЗАХИСТОМ»

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

Детальний аналіз дисертації Башинського Олексія Володимировича «Створення та критерії роботи конструктивних моделей сталевих балок із вогнезахистом» 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. Внаслідок проведення військових дій на території нашої країни інженери-проектувальники та науковці стикнулися з новими і досить складними проблемами, а саме: з захистом громадських будівель та об'єктів критичної інфраструктури від ураження ракет, дронів та снарядів. Захищати будівлі від цих видів ураження складно, практично неможливо. Проте існує можливість захистити об'єкти будівництва від наслідків цих впливів. Один із способів захисту, який розглядається в роботі є захист несучих конструкцій будівлі для протидії високих температур від пожежі.

Зазначено, що при розвитку пожежі у будівлях та інженерних спорудах, що проєктуються зі сталевих конструкцій, несучі конструкції починають активно деформуватися та втрачати свою несучу здатність через 15 хвилин після виникнення пожежі. Несучі сталеві конструкції будівель, які запроектовані без вогнезахисту руйнуються в рази швидше, ніж залізобетонні, завдаючи значної матеріальної шкоди та підвищуючи ризики для життя людей, які знаходяться всередині.

Автором визначені особливості аналізу міцності сталевих конструкцій, які знаходяться під дією високих температур, а також проаналізовані експериментальні та аналітичні методики оцінки межі вогнестійкості конструкцій, які не в повній мірі висвітлюють роботу сталевих конструкцій. У зв'язку з цим у роботі пропонується розробка методики математичного моделювання поведінки конструкцій при впливі високих температур з врахуванням ефективної роботи вогнезахисних матеріалів.

Дисертація присвячена вирішенню наукової задачі зі створення чисельно-математичної моделі для розрахунку вогнестійких будівель та споруд, а також алгоритму визначення межі вогнестійкості з подальшою оцінкою напружено-деформованого стану конструкцій, що є важливим етапом проєктування, оскільки від нього залежить надійність та безпека при експлуатації конструкцій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації підтверджується точністю та достовірністю вихідних даних; застосуванням фізико-математичних моделей сталевих балок перекриття, в тому

числі з різними варіантами вогнезахисту, які відображають дійсні (в тому числі особливі) умови їх роботи, враховують важливі для оцінки міцності особливості геометрії конструкції, а також розподіл температури по висоті перерізу, врахування нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів. 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 варіантів вогнезахисту несучих сталевих конструкції перекриття із врахуванням нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів. Виявлено закономірності деформування сталевих балок в залежності від типу та товщини вогнезахисних матеріалів під час пожежі.

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

Достовірність основних положень роботи забезпечено шляхом виконання чисельних досліджень і застосування сучасних методів аналізу роботи та розрахунку сталевих конструкцій перекриття будівель та інженерних споруд; врахуванням результатів натурних експериментів; врахуванням нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів.

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 ТОВ «ЛІРА САПР».

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 деформування сталевих балок в залежності від типу та товщини вогнезахисних матеріалів під час стандартного режиму пожежі;
- 2) встановлено закономірності зміни напружено-деформованого стану сталевих балок перекриття із врахуванням нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів;
- 3) встановлено закономірності нерівномірного розподілу температур по висоті перерізу балки.

Удосконалено:

4) методика ітераційного зниження жорсткості, яка дозволяє в одній задачі оцінити деформації конструкції на декількох часових відмітках пожежі одночасно (в одній моделі);

5) чисельну модель перерізу, яка враховує уточнення жорсткісних характеристик перерізу через нерівномірну зміну модуля пружності;

Отримав подальший розвиток:

6) чисельний метод скінченних елементів для вирішення задачі нестационарної теплопровідності для проведення теплотехнічного розрахунку поперечного перерізу сталеві балки перекриття.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає:

– у спрямованості дослідження на вирішення задачі забезпечення міцності та стійкості сталевих балок перекриття при дії епізодичних впливів; розробці та обґрунтуванні підходів щодо вибору раціональних типів та товщини вогнезахисних матеріалів під час стандартного режиму пожежі;

– у розробці методики врахування нелінійної роботи матеріалів, що відкриває резерви несучої спроможності сталевих балок при дії високих температур.

Оцінка наукових публікацій

За темою дисертації опубліковано 7 робіт. Основні результати дослідження викладені у 1 статті у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «А», яке цитується у реферативній базі Web of Science, 2 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б». Чотири роботи представлені як тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

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 (73 найменування) та додатку на 2 сторінках. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 149 сторінок друкованого тексту, основний її зміст викладено на 140 сторінках, в роботі присутні: 9 таблиць, 53 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* проаналізовано сучасний стан пожежної безпеки в країні та методи оцінки межі вогнестійкості будівельних конструкцій. Описано способи вогнезахисту будівельних конструкцій та наведено низку найбільш поширених вогнезахисних матеріалів. Проаналізовано сучасні експериментальні, аналітичні та чисельні методи оцінки межі вогнестійкості сталевих конструкцій, а саме сталевих балок перекриття. Автором зроблено висновок щодо ефективності експериментальних методів, а також проаналізовані аналітичні методи, які не враховують ключових критеріїв роботи теплонавантажених конструкцій, тому на базі аналітичних та чисельних методів запропоновано побудувати універсальну методика оцінки межі вогнестійкості сталевих конструкцій на прикладі балки перекриття.

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

У *другому розділі* дисертаційної роботи автор детально розкриває вирішення задачі нестационарної теплопровідності за допомогою чисельного методу скінченних елементів. В програмному комплексі ЛІРА-САПР проведено чисельний експеримент впливу пожежі на сталеву балку перекриття, на яку спирається залізобетонна плита перекриття. Виконано два типи розрахунків: теплотехнічний, в якому було визначено розподіл температурних полів в кожній точці перерізу балки в кожну хвилину часу пожежі; та статичний, в якому було попередньо знижено міцнісні характеристики перерізу та пружно-деформаційні характеристики сталі відповідно до середньої температури в поперечному перерізі балки у фіксований момент часу. Результати теплотехнічного розрахунку порівняні з результатами аналогічного розрахунку, який було проведено в програмному комплексі ANSYS FLUENT та описано в нормативному документі.

Схвалення заслуговує фізико-математична модель напружено-деформованого стану балки перекриття при дослідженні впливу високих температурних впливів.

Обґрунтовано, що розроблена фізико-математична модель відображає дійсні умови роботи; адаптовано метод нестационарної теплопровідності та використано його при чисельному експерименті для оцінки високих розрахункових температурних впливів на сталеву балку перекриття.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи автором описано алгоритм визначення нелінійних властивостей матеріалів конструкції та вогнезахисних облицювань, визначені нелінійні теплофізичні властивості сталі та бетону. Проведено теплотехнічний розрахунок сталевої балки перекриття з врахуванням вогнезахисного матеріалу. Результати розрахунку порівняні з результатами експериментального дослідження та підтвердили достовірність методологічних підходів по визначенню температури в перерізі, розроблених в дисертації.

Проведені теплотехнічні розрахунки моделей сталевих балок з різними варіантами вогнезахисних матеріалів. Виявлено закономірності розподілу температури по перерізу в залежності від типу та товщини вогнезахисного матеріалу. Виконано теплотехнічний розрахунок сталевої балки перекриття з врахуванням різних вогнезахисних матеріалів та вогнезахисних плит різної компоновки із врахуванням нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів. Встановлено закономірність нерівномірного розподілу температурних полів по висоті перерізу балки в залежності від різних вогнезахисних матеріалів. Встановлено, що під час нерівномірного розподілення температур по висоті перерізу більш точний результат можна отримати через вдосконалення чисельної моделі перерізу, яка враховує уточнення жорсткісних характеристик перерізу через нерівномірну зміну модуля пружності.

Для моделювання та аналізу впливів розглянуто 6 скінчено-елементних моделей сталевої балки перекриття.

Доведено, що прогини в балках без вогнезахисту з лінійною та нелінійною зміною теплофізичних властивостей матеріалів на часовій відмітці 60 хвилин відрізняється на 67%. Отже, виконання розрахунку з врахуванням нелінійної зміни теплофізичних властивостей матеріалів відкриває додаткові резерви несучої здатності сталевих конструкцій.

Четвертий розділ присвячений пошуку найбільш раціональної і ефективної методики врахування нерівномірного розподілу температури по висоті перерізу за допомогою удосконалення математичної моделі сталевого перерізу балки перекриття, уточненням приведених жорсткісних характеристик перерізу через його розділ на ділянки.

Також автором запропоновано методику ітераційного зниження жорсткості. Дана методика дозволяє в одній задачі оцінити деформації конструкції на різних часових відмітках пожежі. Порівняння чисельних результатів дослідження і даних натурного експерименту дало високе співпадіння в межах 3%. Виконані дослідження дозволили створити удосконалену чисельно-аналітичну методику, яка полягає в покроковому зниженні жорсткісних характеристик перерізу відповідно до середньої температури по висоті перерізу на обраних часових відмітках температурного впливу. Дана методика була успішно застосована при проведенні розрахунків реальних об'єктів.

На увагу також заслуговують розроблений розширений варіативний алгоритм визначення межі вогнестійкості сталевої балки перекриття.

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

Додаток містить довідку про експериментальну апробацію результатів дисертаційного дослідження.

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:

- встановлено закономірність розподілення температур по перерізу сталевих балок в залежності від різних конструктивних особливостей та вогнезахисних матеріалів;
- встановлено закономірність розподілу температур по висоті перерізу сталевих балок з врахуванням нелінійної зміни теплофізичних характеристик;
- виявлено закономірності деформування сталевих балок в залежності від типу та товщини вогнезахисних матеріалів під час пожежі;
- розроблено методологічний підхід врахування нерівномірного розподілу температур по висоті перерізу за допомогою удосконаленої розрахункової схеми з уточненими характеристиками перерізу через розділення перерізу на ділянки;
- запропоновано методику ітераційного зниження жорсткості елементів, що дозволяє в одній задачі оцінити деформації конструкції на різних часових відмітках пожежі.

ЗАУВАЖЕННЯ ПО РОБОТІ

1. В пункті 2.3 розділу 2 в якості прикладу виконано розрахунок просторової рами, яка складається зі сталевих колон, головних балок та балок настилу. На просторову раму, яка описана вище прикладено 2 типи навантаження, а саме: навантаження від власної ваги сталевих конструкцій та навантаження від власної ваги залізобетонної плити перекриття. Було б доцільно врахувати змінні короткочасні або довготривалі навантаження.

2. На рис. 2.5. представлена скінчено-елементна модель конструкції сталевої балки перекриття з залізобетонною плитою перекриття, яка створена в програмному комплексі ЛІРА-САПР, крок триангуляції становить 2.5 мм. При такій густій сітці бажано б було врахувати наявність арматури в плиті перекриття.

3. На стор. 101 для прикладу наведена плита перекриття товщиною 600 мм. Не зрозуміло як аргументована така товщина.

4. На стор. 110, Рис. 3.12. не зрозуміло для якої частини перерізу наведений графік зміни температури.

5. На стор. 124, Рис. 4.2. запропоновано методика розподілу перерізу балок на ділянки. Не зрозуміло, де границі ділянок розподілу перерізу.

6. В роботі доцільно було розглянути не тільки стандартний режим пожежі, а і температурний режим вуглеводневої пожежі.

7. Для будівель IIIа ступеню вогнестійкості до яких відносяться будівлі переважно з каркасною конструктивною схемою, елементи каркаса яких запроєктовані з металевих незахищених конструкцій, мінімальне значення класу вогнестійкості конструкцій перекриття REI 15. Тому доцільно розглянути наступні граничні стани: втрату цілісності E та втрату теплоізолювальної здатності I.

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 Башинського Олексія Володимировича «Створення та критерії роботи конструктивних моделей сталевих балок із вогнезахистом» 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 Башинського Олексія Володимировича «Створення та критерії роботи конструктивних моделей сталевих балок із вогнезахистом», 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 напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КНУБА з вищезазначеної спеціальності, а її автор Башинський Олексій Володимирович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних
технологій будівництва
Національного авіаційного
університету Міністерства освіти і
науки України

Н.О. Костира
Тришук
Завідувач
Т. Се
Тришук



Костира Н.О.