

## ВІДГУК

на дисертацію Борсук Олени Валентинівни «Удосконалення методу розрахункової оцінки вогнестійкості сталевих балок із вогнезахисним мінераловатним облицюванням», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека.

### Актуальність роботи

Статистичні дані свідчать, що майже третина об'єктів будівництва зводиться із використанням металевих конструкцій. Більше ніж у половини таких об'єктів, сталеві елементи будівельних конструкцій потребують вогнезахисту. Помилки під час вибору та оцінюванню характеристик вогнезахисних систем призводить до втрати несучої здатності будівельних конструкцій продовж проміжку часу меншому за нормований клас вогнестійкості такої будівельної конструкції.

Серед великого вибору вогнезахисних систем для сталевих балок останнім часом поширення зазнали системи на основі мінераловатного облицювання. Їхньою особливістю є використання високоміцних клейових з'єднань, стійких до температурного впливу. Але при цьому у силу невеликої міцності мінераловатних панелей існує велика ймовірність відшарування мінераловатного облицювання по її шарах і як наслідок втрати вогнезахисної здатності та втрати несучої здатності будівельної конструкції. Існуючі методи оцінювання класу вогнестійкості сталевих конструкцій не враховують такого явища, що зумовлює актуальність досліджень, які спрямовані на розкриття закономірностей впливу конструктивних параметрів сталевих балок на умови відшарування мінераловатного вогнезахисного облицювання проведення яких буде науковим підґрунтям удосконалення розрахункових методів прогнозування вогнестійкості даних конструкцій, що у свою чергу є частиною передумов забезпечення їх відповідності нормованим класам вогнестійкості вищевказаних будівельних конструкцій та підвищення рівня пожежної безпеки будівель та споруд, зведених на їх основі.

### Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

Проведено дослідження щодо розкриття закономірностей залежності часу настання моменту відшарування мінераловатного вогнезахисного облицювання від конструктивних параметрів сталевих балок із таким типом вогнезахисту як наукове підґрунтя для удосконалення методів розрахункової оцінки вогнестійкості даних конструкцій, а саме:

– вперше встановлено, що залежність часу досягнення критичної температури у вигляді регресійної залежності від значення критичної



температури  $\theta_{кр}$  та товщини  $d_p$  вогнезахисного мінераловатного облицювання  $U = 33,938 + 1,397 \cdot d_p - 0,081 \cdot \theta_{кр} + 2,35 \cdot 10^{-3} d_p \cdot \theta_{кр}$  і на її основі побудована відповідна номограма;

– встановлено залежність часу відшарування мінераловатного вогнезахисного облицювання сталевих балок під впливом стандартного температурного режиму пожежі від їх коефіцієнту перерізу  $A/V_m$ , товщини мінераловатного облицювання  $d_p$  та рівня навантаження  $\mu_f$ , що має вигляд  $t_c = 44,4 - 0,0599 \cdot A/V_m + 0,725 \cdot d - 4,813 \mu_f - 8,76 \cdot 10^{-3} \cdot A/V_m \cdot d - 0,0314 \cdot A/V_m \mu_f - 0,178 \cdot d \cdot \mu_f + 6,29 \cdot 10^{-4} \cdot A/V_m \cdot d \mu_f$ ;

– з урахуванням виявлених закономірностей впливу конструктивних параметрів, а також навантаження сталевих балок на час відшарування мінераловатного вогнезахисного облицювання під час впливу стандартного температурного режиму пожежі обґрунтовано та запропоновано удосконалений метод розрахункової оцінки вогнестійкості елементів конструкцій даного типу.

Дістало подальшого розвитку застосування розрахункових стандартних методів розрахункової оцінки вогнестійкості сталевих балок з вогнезахисним облицюванням для визначення відповідних вихідних даних для проектування споруд з їх застосуванням. Удосконалено науково-методичну базу забезпечення нормованої вогнестійкості сталевих будівельних конструкцій із вогнезахистом.

**Практичне значення дисертаційних досліджень** полягає в розробленні методу розрахункової оцінки вогнестійкості сталевих балок із мінераловатним вогнезахисним облицюванням, що впроваджено в діяльність дослідно-випробувальної лабораторії аварійно-рятувального загону спеціального призначення Управління ДСНС України у Черкаській області, в освітній процес Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України під час викладання навчальних дисциплін «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій», «Стійкість будівель та споруд при пожежі» та в наукову діяльність науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту під час виконання науково-дослідної роботи шифр «Висотні громадські будинки».

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків здобувача** підтверджується результатами аналізу літературних джерел; відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті і задачам; застосуванням аналітичних методів досліджень; необхідним об'ємом даних отриманих під час проведення експериментальних досліджень з використанням методів випробувань, що регламентуються чинними національними стандартами, метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів



вимірювання; задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також апробацією та практичним впровадженням результатів проведених досліджень.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційне дослідження проводилось на виконання «Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої» від 27.06.2014, розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 N 844-р "Про схвалення Стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року", під час виконання науково-дослідної роботи в ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України: «Розробка методу оцінки ефективності вогнезахисту несучих дерев'яних будівельних конструкцій» (№ держреєстрації 0114U002707), в якій здобувач була виконавцем.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків**

Дисертаційна робота є завершеною працею, в якій наведено нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності призвели до розв'язання актуального наукового завдання – розроблено методику розрахункової оцінки вогнестійкості сталевих балок із мінераловатним вогнезахисним облицюванням із врахуванням можливості його відшарування під час теплового впливу стандартного температурного режиму пожежі.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів і загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 117 найменувань; містить 170 сторінок друкованого тексту, 29 таблиць, 64 рисунки та додатки.

Автореферат і опубліковані роботи достатньою мірою відображають основний зміст дисертації.

Рецензована робота відповідає всім вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертацій на одержання наукового ступеня кандидата технічних наук.

### **Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих роботах.**

Основний зміст роботи викладено у 8 наукових статтях у спеціалізованих наукових виданнях, в тому числі 1 стаття у закордонному виданні з міжнародною індексацією Scopus, а також у тезах 8 доповідей на міжнародних та національних науково-практичних конференціях і семінарах.

У наукових фахових виданнях:



1. Беліков А. С., Маладика І. Г., **Борсук О. В.**, Іщенко І. І. Підвищення вогнестійкості металевих конструкцій як шлях забезпечення вогнезахисту будівель. *Збірник наукових праць Пожежна безпека: теорія і практика*. Черкаси. 2014. № 18. С. 38 – 42.

2. Беликов А. С., Маладыка І. Г., **Борсук Е. В.**, Шаломов В. А. Забезпечення вогнезахисту будівель шляхом підвищення вогнестійкості металевих конструкцій. *Сборник научных трудов Строительство, материаловедение, машиностроение. серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве*. Днепропетровск. 2014. № 76. С. 29 – 33.

3. Беликов А. С., Шаломов В. А., Трифонов І. В., **Борсук Е. В.**, Дзецина Е. В. Внедрение средств огнезащиты для повышения огнестойкости строительных конструкций. *Збірник наукових праць Пожежна безпека: теорія і практика*. Черкаси. 2015. № 20. С. 9 – 18.

4. Поздєєв С. В., Швиденко А. В., Зажома В. М., Радченко В. А., **Борсук О. В.** Метод розрахункової оцінки можливості прогресивного руйнування будівель у наслідок пожежі. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2020, № 4(84), 1 т. С. 74 – 80.

5. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., Бінецька О. В., **Борсук О. В.**, Швиденко А. В., Алімов Б. О. Температурний вплив на теплофізичні властивості вогнезахисного мінераловатного облицювання сталевих конструкцій в умовах випробувань на вогнестійкість. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2020. 4/12 (106) С. 39 – 45.

6. **Борсук О. В.** Дослідження поведінки сталеві балки із вогнезахисним мінераловатним облицюванням при пожежі. *Збірник наукових праць Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідування*. Черкаси. 2020. № 1, том. 4. С. 15 – 24.

7. **Борсук О. В.**, Нуянзін О. М., Кришталь В. М., Ведула С. А., Горovenko М. М. Дослідження межі вогнестійкості сталеві балки за умови втрати цілісності вогнезахисного покриття. *Збірник наукових праць Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідування*. Черкаси. 2020. № 2, том. 4. С. 5 – 14.

8. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., Сідней С. О., Новгородченко А. Ю., **Борсук О. В.** Дослідження нагрівання сталевих двотаврових стержнів із мінераловатним вогнезахисним облицюванням в умовах стандартного температурного режиму пожежі. *Геотехнічна механіка*. 2020. № 152. С. 116 – 126.

Опубліковано в інших виданнях:

1. Беліков А. С., Маладика І. Г., **Борсук О. В.** Перспективи розробки вогнезахисних засобів для металевих конструкцій із вологостійкими властивостями. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних*



ситуацій: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2013. С. 185 – 186.

2. Беликов А. С., Маладыка И. Г., **Борсук Е. В.** Перспективы повышения огнестойкости металлических конструкций огнезащитными влагостойкими покрытиями. *Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф.* Минск: КИИ, 2013. С. 103.

3. Беликов А. С., Маладыка И. Г., **Борсук Е. В.** Применение лёгкого бетона в качестве огнезащиты строительных конструкций. *Технології захисту/ПожТех – 2014: матеріали 16 Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників* Київ, 2014. С. 36 – 37.

4. **Борсук О. В.**, Дзедина Є. В. Ніздрюваті бетони як будівельний матеріал з ефективною вогнезахисною здатністю. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф.* Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. С. 97 – 98.

5. Беликов А. С., Шаломов В. А., **Борсук Е. В.**, Дзедина Е. В. Средство огнезащиты повышения огнестойкости металлических конструкций. *Теорія та практика гасіння пожеж та ліквідація надзвичайних ситуацій: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф.* Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016 С. 146 – 149.

6. Беліков А. С., **Борсук О. В.**, Тарасов С. С., Маладыка І. Г. Перспективи підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф.* Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. С. 171 – 172.

7. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., **Борсук О. В.**, Неділько І. А., Федченко С. М. Вивчення стану втрати вогнестійкості сталевих балок з вогнезахисним мінераловатним облицюванням. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали X Всеукр. наук.-практ. конф.* Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2020. С. 120 – 122.

8. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., **Борсук О. В.**, Неділько І. А. Дослідження цілісності вогнезахисного мінераловатного облицювання сталевої балки в умовах пожежі. *Енергоефективність на транспорті: Міжнар. наук.-практ. конф.* Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 98 – 100.

### Коротка характеристика роботи

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану нормування вогнестійкості сталевих балок та розрахункових методів її оцінки, а також показані статистичні дані щодо пожеж у будівлях і спорудах із сталевими конструкціями та виявлено шляхи підвищення їх ефективності.



У другому розділі описано методи та засоби випробувань на вогнестійкість з визначення температурних меж вогнестійкості металевих зразків з вогнезахисним облицюванням мінераловатними плитами. Зокрема експериментальні дослідження проводилися із використанням атестованої вогневої печі за стандартизованими в Україні методами. Наведено процедуру та послідовність проведення експериментальних досліджень та умови за яких вони проводились.

У третьому розділі наведені результати експериментальних досліджень фрагментів металевих зразків із вогнезахисним облицюванням за результатами яких обґрунтовано математичну модель залежності часу досягнення критичної температури у фрагментах металевих зразків залежно від товщини вогнезахисного облицювання та значення критичної температури. Проведено дослідження коефіцієнту теплопровідності мінераловатного облицювання фрагментів металевих зразків. Наведені дані щодо перевірки точності і достовірності отриманих результатів.

У четвертому розділі описано алгоритм розрахунку поведінки сталевій балки із вогнезахисним мінераловатним облицюванням в умовах стандартного температурного режиму.

Представлені результати розрахунку поведінки сталевій балки із вогнезахисним мінераловатним облицюванням в умовах стандартного температурного режиму на підставі яких зроблені висновки про умови при яких у балках настають максимальні навантаження, виникають відшарування вогнезахисту та настає граничний стан за ознакою втрати стійкості будівельної конструкції.

Наведені дані щодо максимальних прогинів балки та швидкості наростання величини прогину.

На підставі ознаки втрати цілісності, за яку прийнято розкриття тріщини більше 25 мм визначено клас вогнестійкості за ознакою втрати теплоізоляційної здатності вогнезахисного облицювання як передумови втрати несучої здатності будівельної конструкції.

У п'ятому розділі розроблено розрахункову методику оцінки вогнестійкості сталевих балок із мінераловатним вогнезахисним облицюванням із використанням величини часу його відшарування, визначеного за запропонованими номограмами, за рекомендаціями другої частини Єврокоду 3.

Така методика дозволяє враховувати можливе явище відшарування вогнезахисного облицювання за рахунок низької міцності мінеральної вати на розрив та зсув.

Наведені дані щодо залежності межі вогнестійкості сталевих балок із вогнезахисним мінераловатним облицюванням від величини коефіцієнту



перерізу балки, рівня прикладеного навантаження, товщини вогнезахисного облицювання.

Автореферат та дисертація оформлені відповідно до встановлених вимог, зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Матеріал дисертації представлений послідовно, стиль викладу чіткий і лаконічний. Висновки до кожного розділу та дисертації в цілому тісно пов'язані з їхнім змістом і відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора повністю висвітлюють наукові положення і результати дисертації.

### Зауваження

1. При розгляді теплового впливу пожежі на балки із мінераловатним вогнезахистом були використані зразки, що відчували тепловий вплив з чотирьох боків, проте балки при пожежі як правило відчують трьохсторонній тепловий вплив.

2. Під час визначення теплофізичних характеристик мінераловатного вогнезахисту розглянуто тільки температурну залежність коефіцієнта теплопровідності, інші характеристики вважалися сталими, то ж бажано було б розглянути температурні характеристики – густини та питомої теплоємності.

3. Під час визначення температурної залежності коефіцієнта теплопровідності застосована одна із стандартизованих методик, що використовує наближену алгебраїчну формулу, проте для перевірки отриманих результатів бажано було б провести визначення температурної залежності температурних характеристик мінеральної вати на основі вирішення обернених задач теплопровідності.

4. Не зрозуміло на підставі яких міркувань у чисельному експерименті (таблиця 3.4) максимальні значення критичної температури прийнято 750 °С, коли в стандартах для металевих елементів значення критичної температури залежно від навантаження варіює в межах 400-620 °С.

5. Не зрозуміло із яких експериментальних даних отримані результати щодо часу досягнення критичної температури, під час проведення повнофакторного експерименту (таблиця 3.5).

6. Під час розгляду процесу деформування сталевих балок в умовах впливу пожежі розглянута лише одна схема їхнього навантаження та закріплення, тому залишилося не зрозумілим чи можна застосовувати отримані результати для інших балок з іншим типом навантаження та закріплення.

7. У розділі 4 дисертаційної роботи під час розрахунку поведінки сталеві балки із вогнезахисним мінераловатним облицюванням не зрозуміло, яким чином контролювався процес відшарування мінераловатних елементів.

8. Чому під час обґрунтування методу оцінки вогнестійкості сталевих балок із мінераловатним вогнезахисним облицюванням із врахуванням його



втрати цілісності за ознаку прийнято розкриття тріщини товщиною 25 мм, а не, наприклад, розкриття тріщини товщиною 6 мм, як найбільш несприятливого сценарію.

### Висновки

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Зміст автореферату ідентичний до основних положень дисертації. Дисертація містить науково обґрунтовані теоретичні результати, наукові положення, відомості і документи, що підтверджують практичне використання отриманих результатів, характеризується єдністю змісту.

Дисертаційна робота на тему «Удосконалення методу розрахункової оцінки вогнестійкості сталевих балок із вогнезахисним мінераловатним облицюванням» відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12-14 Постанови Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Борсук Олена Валентинівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

Офіційний опонент:

начальник науково-дослідного центру  
протипожежного захисту

Інституту державного управління та  
наукових досліджень з цивільного захисту

доктор технічних наук,

старший науковий співробітник

Вадим НІЖНИК

Ліднерс Нікоскеєка В.В.  
засвідчую

В.о. Нікоскеєка В.В.



А. Волкеський