

Вирішення задачі оцінки межі вогнестійкості сталевих балок в ПК ЛІРА САПР

Олексій Башинський, доктор філософії, асистент^{1,2} (ORCID: 0000-0003-2466-4306)

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, вулиця Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, пр-т Повітряних Сил, 31, м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Представлено методику оцінки межі вогнестійкості сталевих конструкцій на прикладі сталевих балок перекриття з використанням програмного комплексу ЛІРА-САПР. Описано виконання теплотехнічного розрахунку шляхом вирішення задачі нестационарної теплопровідності за допомогою методу скінченних елементів. Представлено спосіб врахування покрокового зниження міцності сталевих балок.

Ключові слова: вогнестійкість, теплопровідність, нелінійність, міцність, сталеві конструкції, метод скінченних елементів, ПК ЛІРА-САПР, LIRA-FEM.

1. ВСТУП

При розвитку пожежі у будівлях та спорудах, в яких несучими конструктивними елементами виступають сталеві конструкції, згинальні конструкції, такі як балки та ферми починають активно деформуватися та втрачати свою несучу здатність в проміжку часу до 15 хвилин після виникнення пожежі. Будівельні конструкції з несучими елементами із незахищеного металу руйнуються в рази швидше, ніж залізобетонні, завдаючи величезної матеріальної шкоди та підвищуючи ризик людей, які знаходяться усередині будівель. Запобігання подібним ситуаціям вимагає удосконалення існуючих чисельно-аналітичних методик математичного моделювання поведінки конструкцій при впливі високих температур.

2. МЕТА

Аналітичні методики оцінки та розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість, наприклад методика визначення критичної температури в елементі в залежності від виникаючих зусиль, що описана в європейському нормативному документі [1], дозволяє швидко оцінити границю вогнестійкості конкретного стержневого елемента. Проте ця методика має певні недоліки, так як вона не враховує важливі критерії, такі як тепловіддача, нерівномірний прогрів елемента, врахування вогнезахисних матеріалів.

Тому удосконалення існуючих чисельно-аналітичних методів оцінки межі вогнестійкості сталевих балок дозволить врахувати ці важливі критерії.

3. ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Спираючись на аналітичну методику розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість, розрахунок поділяється на дві частини: теплотехнічний розрахунок та статичний міцнісний розрахунок.

3.1. Теплотехнічний розрахунок

Теплотехнічний розрахунок дозволяє оцінити швидкість та характер зміни температури по конструкції. Конструкцію

балки, наприклад, можна моделювати в плоскій та об'ємній постановці.

Плоска постановка передбачає побудову скінченно-елементної моделі поперечного перерізу конструкції і дозволяє оцінити зміну температури по висоті поперечного перерізу, що є важливим критерієм для оцінки межі вогнестійкості балок та плит перекриття. Оцінка межі вогнестійкості балок в плоскій постановці наведена в попередніх дослідженнях [2,3,4].

Об'ємна постановка передбачає побудову скінченно-елементної моделі всієї конструкції пластинчастими або об'ємними скінченними елементами. Такий підхід дозволяє оцінити не тільки зміну температури по висоті перерізу конструкції, а і по її довжині. Такий спосіб моделювання є більш точним проте потребує більше ресурсів. Оцінка межі вогнестійкості конструкцій в об'ємній постановці описана в роботі Отроша Ю.А., Ковальова А.І. та Пурденко Р.Р. [5].

Теплотехнічний розрахунок полягає у вирішенні задачі нестационарної теплопровідності. В ПК ЛІРА-САПР (LIRA-FEM) вирішення такої задачі виконується за методом скінченних елементів і є подібним до вирішення задачі міцності нелінійним динамічним методом [6]. Вихідними даними слугують: теплофізичні властивості матеріалу конструкції, задана температура у вузлах моделі, задане теплове навантаження на крайні елементи по периметру (у відповідності до обраної схеми обігріву конструкції), заданий конвективний теплообмін (для врахування теплопоглинання та тепловіддачі) та графік нелінійного динамічного впливу, який будується відповідно обраному температурному режиму пожежі.

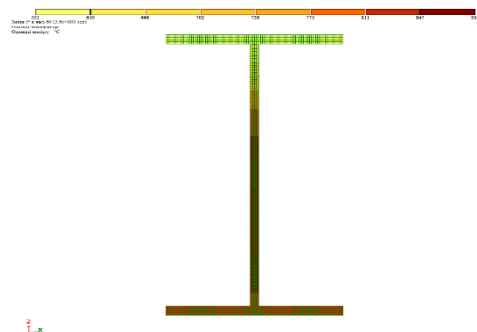


Рисунок 1. Результати теплотехнічного розрахунку

Результатами такого розрахунку є розподіл температурних полів по висоті поперечного перерізу конструкції на різних попередньо заданих часових відмітках пожежі. Приклад результатів теплотехнічного розрахунку в плоскій постановці показано на рис. 1.

За результатами теплотехнічного розрахунку необхідно обрати часові відмітки пожежі і зафіксувати найвищий або середній показник температури по висоті поперечного перерізу конструкції.

3.2. Міцнісний статичний розрахунок

Міцнісний статичний розрахунок є окремим розрахунком, який необхідно виконувати в окремій задачі. Такий вид розрахунку являє собою звичайний міцнісний розрахунок моделі, проте з врахуванням результатів теплотехнічного розрахунку шляхом зниження міцнісних характеристик перерізів конструкції у відповідності до обраних часових відміток пожежі.

Зниження міцнісних характеристик конструкції відбувається через врахування коефіцієнту зниження модуля пружності-деформації та коефіцієнту зниження границі текучості. Залежність даного коефіцієнту від температури наведено в європейському або адаптованому українському нормативному документі [1].

Міцнісний розрахунок в LIRA-FEM можна виконувати як для однієї так і для декількох обраних часових відміток пожежі [2, 4].

Результати міцнісного розрахунку в LIRA-FEM для однієї обраної часової відмітки пожежі наведено на рисунку 2 і являють собою прогини в балках та відсоток використання поперечного перерізу за 1-ю групою граничних станів.

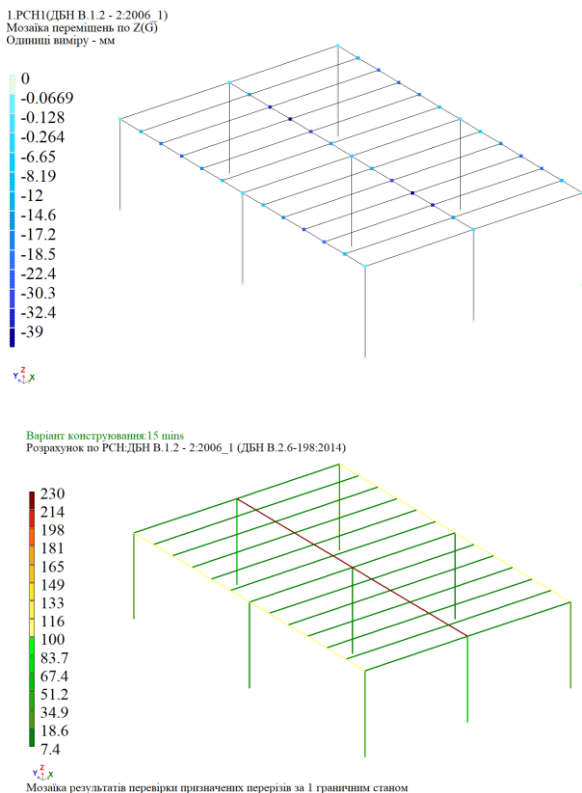


Рисунок 2. Результати міцнісного розрахунку

Для виконання міцнісного розрахунку за результатами теплотехнічного розрахунку на декількох обраних часових відмітках пожежі було представлено методику ітераційного зниження жорсткості. Дана методика полягає в поетапному зниженні жорсткісних характеристик конструкції за допомогою врахування коефіцієнту зниження модуля пружності-деформації, який обчислено для різних часових відміток.

Дана методика полягає в наступному: в задачі LIRA-FEM створюється кількість завантажень, що відповідає обраній кількості часових відміток пожежі і за допомогою інструменту Підзадачі в кожному завантаженні елементу признається коефіцієнт зниження. Результатами міцнісного розрахунку за методикою ітераційного зниження жорсткостей є прогини в конструкції балки на різних часових відмітках пожежі.

4. ВИСНОВКИ

Представлена чисельно-аналітична методика оцінки межі вогнестійкості сталевих балок є зручним та точним інженерним інструментом, який дозволяє вирішувати задачі вогнестійкості для сталевих згинальних конструкцій.

Важливо зазначити, що такий підхід, при врахуванні відповідних критеріїв, дозволить вирішувати подібні задачі і для інших типів конструкцій, в тому числі і залізобетонних.

Список літератури

- [1] ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). //К.: Мінергіонбуд України, 2012. – 98 с.
- [2] Bilyk S., Bashynska O., Bashynskiy O. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software. Strength of materials and theory of structures. 2022. №108. С. 189-202.
- [3] Башинський О.В., Башинська О.Ю. Аналіз напружено-деформованого стану вогнезахисної сталеві балки перекриття. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2023. №12. С. 126-138.
- [4] Башинський О.В. Оцінка несучої здатності сталеві балки перекриття в умовах високих температурних впливів. Наука та будівництво. Київ, 2024. Том 39 №1 (2024). С. 72-78.
- [5] Ковальов А.І., Пурденко Р.Р., Отрош Ю.А., Томенко В.І., Качкар Є.В., Майборода Р.І. Оцінювання вогнестійкості вогнезахисних сталевих балок. ВІСТІ Донецького гірничого інституту. 2022. №2 (51). С.43-53.
- [6] Башинська О.Ю. Створення розрахункових моделей будівельних конструкцій при врахуванні реологічних властивостей залізобетону : дис. канд. техн. наук : 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди / Національний авіаційний університет – Київ, 2019. – 152 с.