

УДК 614.841.45

С.В. Новак, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., П.Г. Круковський, д-р техн. наук, проф.

РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ПОЛЬОВИХ МОДЕЛЕЙ

На прикладі оцінювання вогнестійкості конструкції навісу над трибунами стадіону НСК "Олімпійський" розглянуто етапи та процедури застосування розрахункового метода на основі польових моделей для оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій. Показано, що для цього метода застосовують такі етапи, як визначення конструкції об'єкта дослідження та сценаріїв можливої пожежі, складання моделі теплового стану конструкції під час пожежі, проведення розрахунків температурних полів та обробка отриманих результатів, проведення розрахунків напружень і деформацій конструкції та оцінка її вогнестійкості. Розглянуто процедури, які застосовують на зазначених етапах.

Ключові слова: будівельна конструкція, вогнестійкість, польова модель, сценарій пожежі, температурне поле, єврокод.

S. Novak, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., P. Krukovskyi, Doc. of Sc. (Eng.), Prof.

CALCULATED ASSESSMENT METHOD OF BUILDING CONSTRUCTIONS FIRE RESISTANCE BASED ON FIELD MODELS

The stages and procedures for the use of calculation methods based on field models for the evaluation of fire resistance of building constructions. For example, evaluation of fire resistance design canopy over the stands NSK "Olympic". It is shown that this method is used such steps as defining the object of study design and possible fire scenarios, assembly design model the thermal state of the fire, the calculation of temperature fields and processing the results, the calculation of stresses and strains design and evaluation of fire resistance. Procedures for applying in these stages.

Keywords: building construction, fire resistance, field model, script of fire, temperature field, Eurocode.

Відповідно до положень Регламенту (ЄС) № 305/2011 [1], Тлумачного документа «Основна вимога № 2. Пожежна безпека» [2] до Директиви 89/106/ЄЕС [3], європейського стандарту EN 1991-1-2 (Єврокод 1) [4], Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд [5], державних будівельних норм ДБН В.1.2-7 [6] та національного стандарту України ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 [7] для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій розрахунковим шляхом застосовують такі підходи:

- а) розгляд сценаріїв реальної пожежі;
- б) розгляд сценаріїв умовної пожежі;
- в) розрахунок вогнестійкості.

У разі розгляду сценаріїв реальної пожежі для розрахунку теплового впливу пожежі на будівельному об'єкті (наприклад, у приміщенні, у групі приміщень або на частинах будівельного об'єкта) необхідно враховувати:

- пожежне навантаження (тип, кількість матеріалів і швидкість їх горіння);
- умови надходження повітря до місця пожежі;
- форму та розмір несучої та /або огороджувальної конструкції;
- теплофізичні властивості несучої та /або огороджувальної конструкції.

При цьому застосовують спрощені або уточнені моделі пожежі. Спрощені моделі базуються на визначених фізичних параметрах з обмеженою сферою застосування. При їх використанні температура газового середовища у протипожежному відсіку має бути визначена на основі фізичних параметрів, що враховують, принаймні, густину теплового потоку та умови вентиляції. Уточнені моделі пожежі мають враховувати властивості газу,

масообмін та теплообмін. Відповідно до положень Єврокоду 1 [4, 7] для розрахунків слід використовувати одну з таких уточнених моделей:

- однозонну модель, що передбачає рівномірний розподіл температури у приміщенні (протипожежному відсіку) залежно від часу;

- двозонну модель, що встановлює верхній рівень з відповідними товщиною та рівномірною температурою, які залежать від часу, та нижній рівень з рівномірною нижчою температурою, що залежить від часу;

- обчислювальну модель термо- та аеродинаміки потоку (цю модель називають також CFD моделлю або польовою моделлю), що встановлює залежність температури у приміщенні (протипожежному відсіку) від часу.

Польова модель є найбільш потужним й універсальним інструментом, ніж зональні; і вона ґрунтується на зовсім іншому принципі. Замість однієї або декількох великих зон в польовій моделі визначають велику кількість (звичайно десятки тисяч або сотні тисяч) маленьких контрольних об'ємів, ніяк не пов'язаних з передбачуваною структурою потоку. Для кожного з цих об'ємів за допомогою чисельних методів розв'язують систему рівнянь у частинних похідних, що виражає принципи локального збереження маси, імпульсу, енергії і мас компонентів. Польовий метод є найбільш універсальним з існуючих детерміністичних методів, оскільки він заснований на розв'язанні рівнянь у частинних похідних, що виражають фундаментальні закони збереження в кожній точці розрахункової області. Однак в Єврокоді 1 [4, 7] не визначено порядок та процедури проведення розрахунків за цим методом, що ускладнює його практичне застосування для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій.

Метою даної роботи є розкриття етапів та процедур застосування розрахункового метода на основі польових моделей на прикладі оцінювання вогнестійкості реальної будівельної конструкції – навісу над трибунами стадіону НСК "Олімпійський", аналіз теплового стану якої в умовах пожежі проведено в [8].

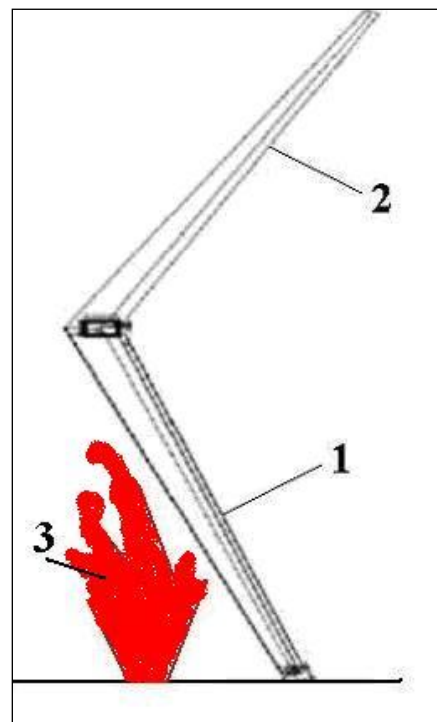
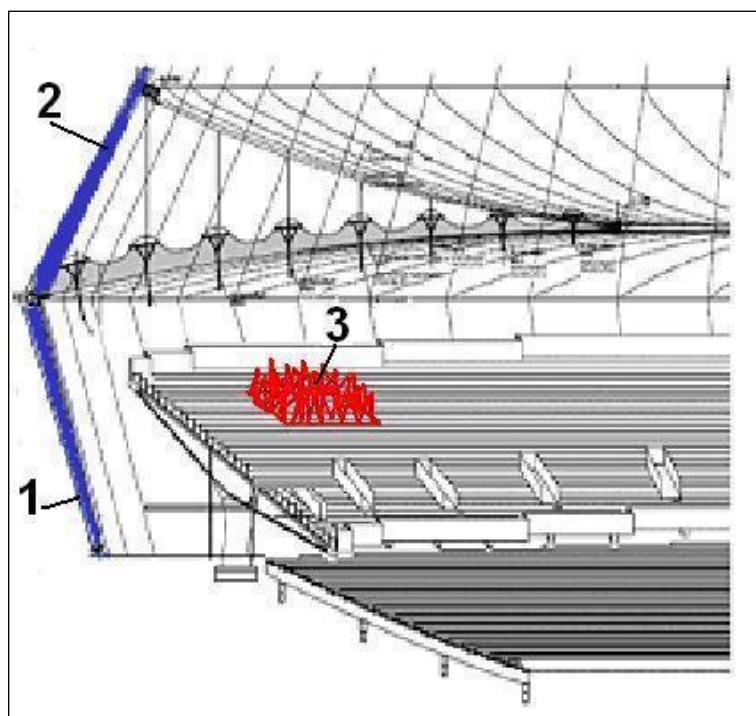
Конструкція навісу над трибунами стадіону НСК "Олімпійський"

Навіс над трибунами стадіону НСК «Олімпійський» – це конструктивна система (далі – конструкція), яка складається з покриття та підтримуючих його несучих сталевих колон (рисунок 1 [8]), а також нижнього та верхнього кілець (рисунок 2), які з'єднують між собою колони. Конструкція містить 80 несучих колон висотою 40 м. Кожна колона має дві частини (1, 2 на рисунку 1) та змінний за висотою коробчастий переріз.

Сценарії пожежі

Розглядалися три можливі сценарії пожежі, спричиненої горінням стільців для глядачів (рисунок 3), які розташовані на трибунах верхнього ярусу стадіону під покриттям (рисунок 1а), або горінням об'єкта, розташованого за трибунами стадіону поблизу несучих сталевих колон (рисунок 1б). У перших двох сценаріях розглядалася пожежа, спричинена горінням стільців для глядачів на площі 7 м x 7 м (рисунок 1а). При цьому для сценарію № 1 приймалася відсутність направленої потоку повітря (вітру) на стільці з боку футбольного поля, а для сценарію № 2 – наявність такого потоку зі швидкістю 5 м/с. Для сценарію № 3 приймалося, що відбувається вигорання об'єкта, що розташований біля колони (рисунок 1б), за відсутності направленої потоку повітря (вітру) на нього.

Величина питомого пожежного навантаження для сценаріїв № 1 та № 2 складає 4,658 кг/м²; теплота згорання матеріалу, з якого виготовлено стільці для глядачів (поліаміду РА 6), становить 29,16 МДж/кг; максимальна масова швидкість вигорання пожежного навантаження 0,0083 кг/(м² с); молекулярна вага поліаміду РА 6 – 500000 г/моль; стехіометричне співвідношення під час вигорання 1 кг поліаміду – 14,5 кг повітря (кількість повітря, яке необхідне для повного вигорання 1 кг поліаміду).

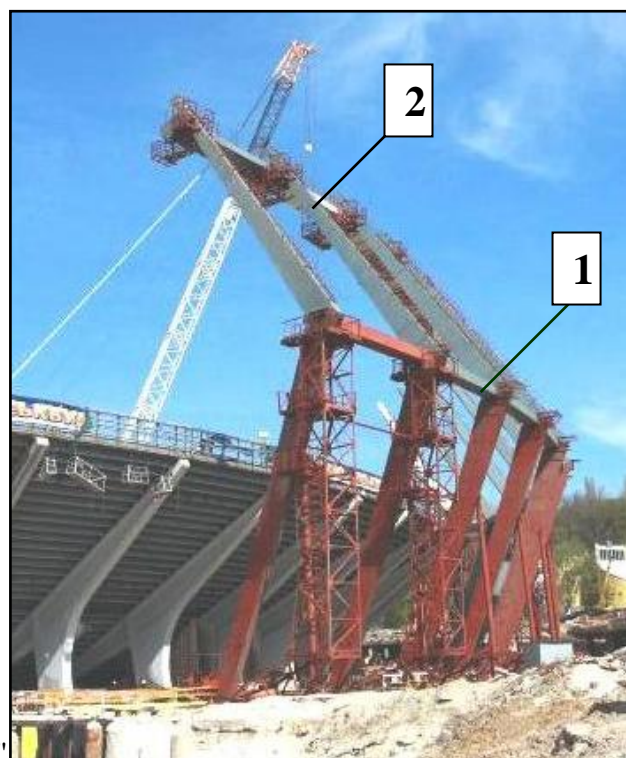


а)

б)

1 – нижня частина колони, 2 – верхня частина колони, 3 – вогнище пожежі

Рисунок 1 – Схема навісу над трибунами (а) та окремої несучої сталеві колони (б)



1 – нижнє кільце, 2 – верхнє кільце

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд колон з кільцями

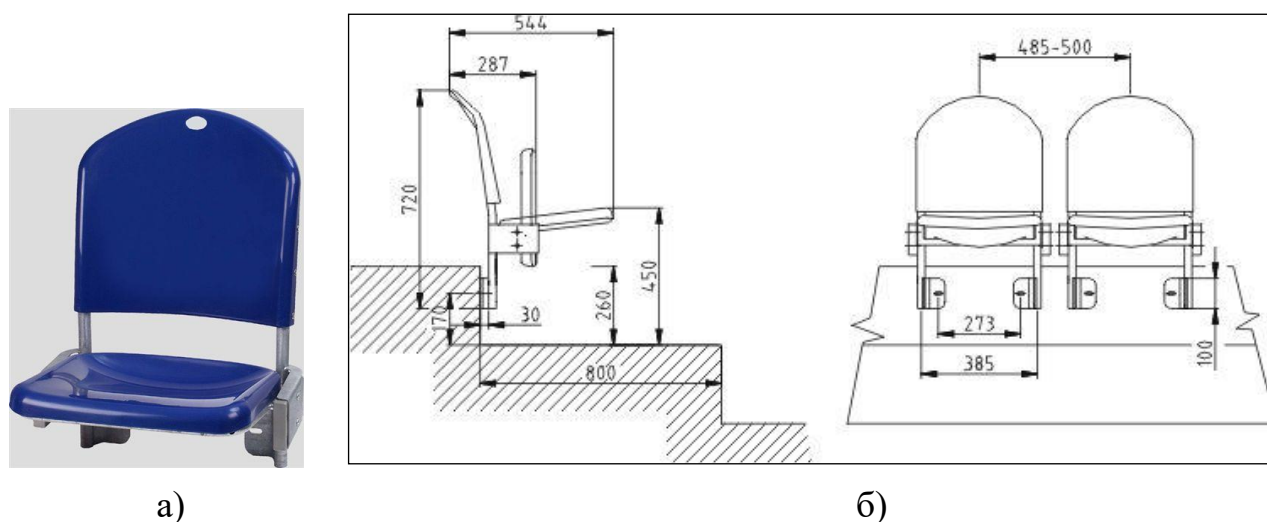


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд (а) та схематичне зображення взаємного розташування стільців для глядачів (б)

Питоме пожежне навантаження об'єкта, розташованого біля колони (сценарій № 3), становить 1389 МДж/м^2 . Площа вогнища пожежі складає 20 м^2 , масова швидкість вигорання пожежного навантаження становить $8,33 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \text{ с)}$.

Модель теплового стану конструкції навісу під час пожежі

Модель теплового стану засновано на застосуванні системи рівнянь Навьє-Стокса і співвідношень, наведених в [9]. Відповідно до положень, визначених в Єврокодах 1 та 3 [4, 7, 10, 11], модель враховує теплоту згорання, швидкість та повноту вигорання пожежного навантаження, а також складний радіаційно-конвективний теплообмін у газовому середовищі від джерела теплової дії (вогнища пожежі) до поверхні елементів конструкції навісу (колонами та кільцями), кондуктивний теплообмін в елементах конструкції та радіаційно-конвективний теплообмін від них до навколишнього середовища. Радіаційно-конвективний теплообмін враховується за допомогою постановки спряженої задачі, для якої розрахунок теплового стану конструкції навісу і об'єму гарячих і холодних газів навколо цієї конструкції виконується одночасно, що не вимагає завдання коефіцієнтів тепловіддачі на її поверхнях.

Модель дозволяє проведення розрахунків нестационарних полів температур газового середовища біля навісу, що у свою чергу дозволяє визначити максимальні та середні за поперечним перерізом температури елементів конструкції навісу для оцінки вогнестійкості конструкції навісу за обраними критеріями.

Оскільки система рівнянь математичної моделі є складною і нелінійною, то її інтегрування здійснювалось чисельним методом контрольного об'єму розв'язання повної системи рівнянь Навьє-Стокса з використанням сучасної обчислювальної техніки. Розрахунки полів температур під час пожежі проводились із застосуванням геометричної моделі (рисунок 4 [8]) та комп'ютерної програми STAR-CD [12]. Розрахункова сітка моделі мала близько 500 тисяч елементів. При розрахунках теплофізичні характеристики сталевих елементів конструкції навісу у моделі задавались у вигляді залежностей від температури, наведених в Єврокод 3 [10, 11].

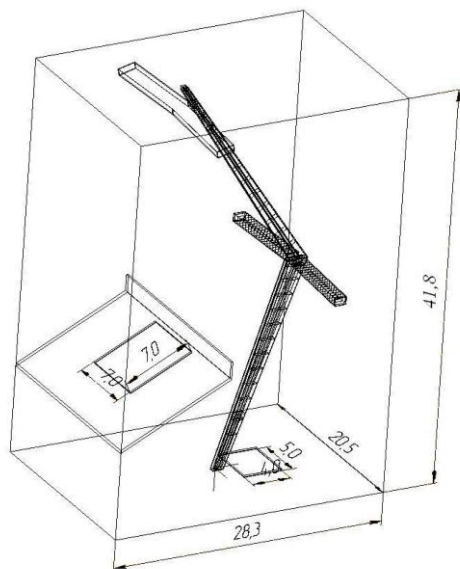
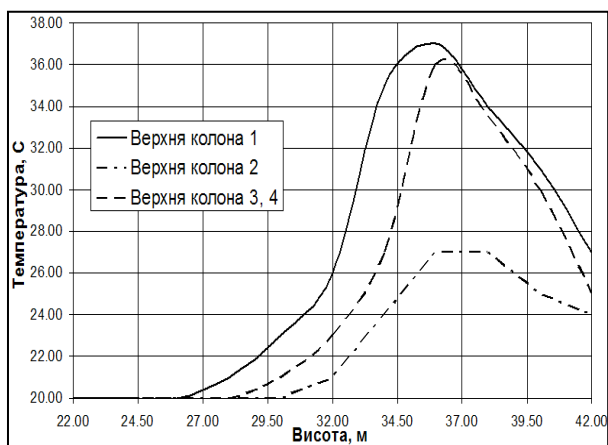


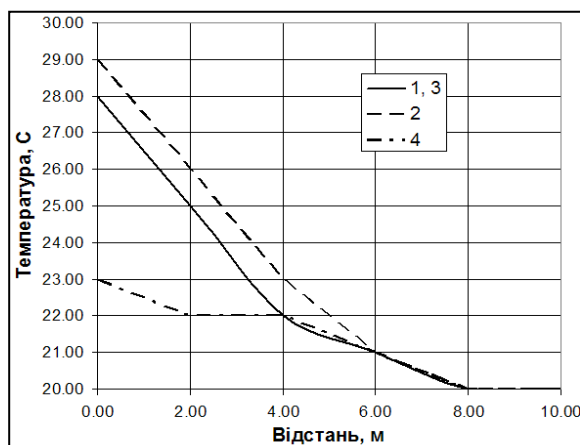
Рисунок 4 – Геометрична модель для розрахунку теплового стану конструкції навісу

Результати розрахунків

За результатами проведених розрахунків визначено нестационарні поля температур газового середовища біля навісу, в колонах та кільцях навісу для всіх сценаріїв пожежі, які розглядаються. Зокрема на рисунку 5 для сценарію № 1 наведено розподіли температур вздовж ліній 1 - 4 для верхньої колони та вздовж ліній 1 - 4 для верхнього кільця для моменту часу 9,24 хв (час повного вигорання стільців для глядачів). Лінії 1 - 4 розташовані по різних боках коробчастих перерізів колон та кільць. Перерізи колон та кільць навісу з номерами ліній 1 – 4 надані в [8]. Аналогічні розподіли температур для сценарію № 2 наведено на рисунку 6. В таблиці 1 для сценарію № 3 і моменту часу 150 хв (час повного вигорання пожежного навантаження) наведено поле температур в перерізах нижньої колони навісу.

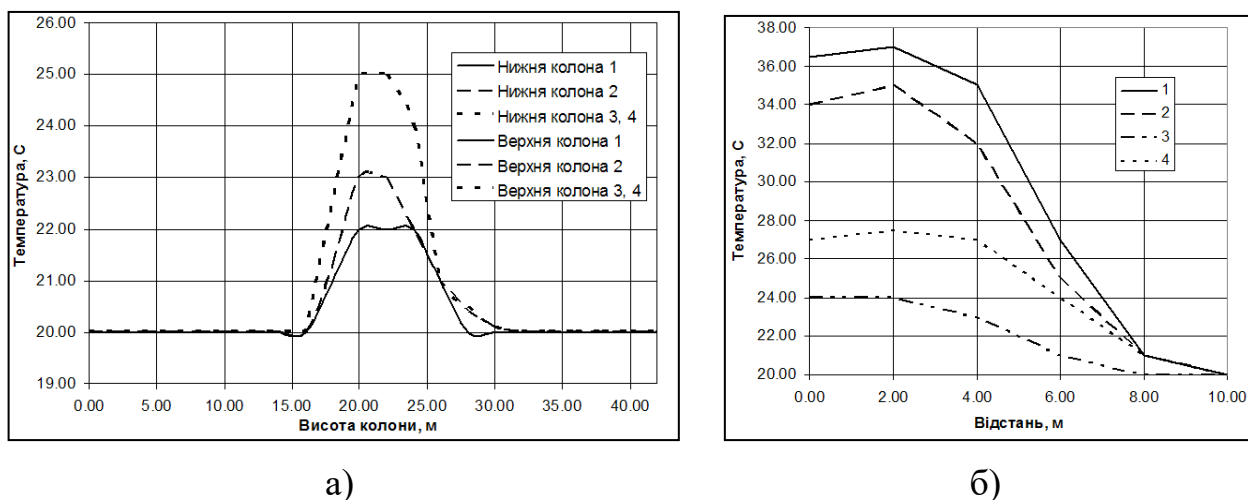


а)



б)

Рисунок 5 – Розподіли температур уздовж ліній 1 - 4 для верхньої колони (а) та для верхнього кільця (б) для сценарію № 1



Рисуюнок 6 – Розподіли температур уздовж ліній 1 - 4 для верхньої та нижньої колон (а) та для верхнього кільця (б) для сценарію № 2

Таблиця 1 – Значення температури нижньої колони в різних її точках за висотою Z вздовж ліній 1 - 4 в момент часу 150 хв для сценарію № 3

Лінія 1		Лінія 2		Лінія 3		Лінія 4	
Z, м	T, °C	Z, м	T, °C	Z, м	T, °C	Z, м	T, °C
0.00	20.28	0.00	20.29	0.00	20.26	0.00	20.29
2.00	20.46	2.00	23.50	2.00	20.65	2.00	20.75
4.00	23.95	4.00	75.01	4.00	30.84	4.00	29.96
6.00	40.73	6.00	112.03	6.00	65.02	6.00	62.22
8.00	65.60	8.00	128.25	8.00	95.55	8.00	93.21
10.00	73.25	10.00	121.47	10.00	99.74	10.00	100.24
12.00	77.56	12.00	106.21	12.00	92.72	12.00	95.33
14.00	78.25	14.00	87.89	14.00	82.45	14.00	85.33
16.00	76.27	16.00	72.93	16.00	71.62	16.00	73.45
18.00	71.87	18.00	60.89	18.00	61.72	18.00	62.12
20.00	65.59	20.00	52.71	20.00	53.14	20.00	51.45
22.00	59.91	22.00	48.86	22.00	46.39	22.00	46.02

Із аналізу отриманих температурних полів випливає, що максимальні значення температури та перепаду температури для конструкції навісу і часу повного вигорання пожежного навантаження складають відповідно: 37 °C та 10 °C – для сценарію № 1; 37 °C та 13 °C – для сценарію № 2; 128 °C та 62 °C – для сценарію № 3.

Отримані поля температур у колонах та кільцях навісу були використані фахівцями Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» для розрахунків напружень та деформацій конструкції навісу трибуни, за результатами яких визначено, що для заданих сценаріїв пожежі вогнестійкість цієї конструкції забезпечується і немає потреби у застосуванні для металевих конструкцій навісу вогнезахисного оброблення.

Висновки

На прикладі оцінювання вогнестійкості конструкції навісу над трибунами стадіону НСК "Олімпійський" розкрито етапи та процедури застосування розрахункового метода на основі польових моделей. Показано, що для цього метода застосовують такі етапи, як визначення конструкції об'єкта дослідження та сценаріїв можливої пожежі, складання моделі теплового стану конструкції під час пожежі, проведення розрахунків температурних полів та обробка

отриманих результатів, проведення розрахунків напружень і деформацій конструкції та оцінка її вогнестійкості. Визначено процедури, які застосовують на зазначених етапах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. – OJ L 88, 4.4.2011, p. 5 - 43.
2. Communication of the commission with regard to the Interpretative documents of Council Directive 89/106/EEC.
3. Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products. –OJ L 40, 11.2.1989, p. 12 - 26.
4. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire (Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі).
5. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. – Офіційний вісник України, 2006 р., № 51, ст. 3415.
6. ДБН В.1.2-7-2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
7. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
8. Круковський П.Г. Аналіз теплового стану металевих конструкцій навісу над трибунами НСК «Олімпійський» для оцінювання їх вогнестійкості в умовах реальних пожеж / П.Г. Круковський, І.В. Чала // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека». – 2013. – № 22. – С. 140 - 147.
9. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации. – М.: ВНИИПО. – 2013. – 35 с.
10. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
11. 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).
12. STAR-CD version 3.15, Methodology, CD Adapco Group, Computational Dynamics Limited, 2001.

