

УДК 614.841.45

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

С.В. Новак\*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., В.Л. Дріжд<sup>2</sup>, канд. техн. наук,

О.В. Добростан<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

<sup>2</sup>Науково-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 28.04.2018

Пройшла рецензування: 06.06.2018

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

будівельна конструкція, вогнезахисна здатність, вогнезахисний матеріал, вогнестійкість, методи оцінювання, будівельні Єврокоди, стандартний температурний режим.

### АНОТАЦІЯ

Наведено основні положення і аналіз сучасних європейських методів оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів різних типів, що пов'язані з будівельними конструкціями, для захисту яких їх передбачено. Встановлено особливості процедур оцінювання вогнезахисної здатності цих матеріалів і застосування результатів цього оцінювання в будівельних Єврокодах.

Відповідно до стандартів EN 1993-1-2 [1] та ДСТУ-Н Б В.2.6-211 [2] «вогнезахисний матеріал – це будь-який матеріал (або сполучення матеріалів), що застосовується до конструкції для підвищення її вогнестійкості». До вогнезахисних матеріалів належать матеріали, що спучуються, і матеріали, що не спучуються, матеріали, які наносять методом розпилювання або в інший спосіб (наприклад, фарби, шпаклівки), а також інші матеріали, часто у вигляді комплектів.

Вогнезахисні матеріали застосовують для будівельних конструкцій різних типів (наприклад, стін, перекриттів, балок, колон), виготовлених з бетону, сталі, деревини тощо. Для будівельних конструкцій важливо мати дані щодо вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів, які мають визначати параметри цих матеріалів (наприклад, товщини шарів покриття), за якими забезпечується їх вогнестійкість.

У підходах щодо оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів для будівельних конструкцій на національних рівнях існують деякі відмінності. Наприклад, для вогнезахисних матеріалів, призначених для несучих сталевих конструкцій, в Російській Федерації застосовують метод, наведений в ГОСТ Р 53295 [3], згідно з яким для вогнезахисного матеріалу визначають його групу вогнезахисної ефективності. Ця група є порівняльним показником засобу вогнезахисту, який характеризується часом у хвилини від початку вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі 500 °С для стандартного зразка сталеві конструкції з вогнезахисним матеріалом. Результат

визначення групи вогнезахисної ефективності згідно з цим стандартом не дає однозначної відповіді на питання про те, яку мінімальну товщину вогнезахисного матеріалу треба нанести на сталеву конструкцію з певним профільним коефіцієнтом перерізу (зведеною товщиною сталевого профілю) для забезпечення нормованого значення межі вогнестійкості цієї будівельної конструкції. Для цих же вогнезахисних матеріалів відповідно до національного стандарту України ДСТУ Б В.1.1-17 [4] визначають їх характеристику вогнезахисної здатності – залежність мінімальної товщини вогнезахисного матеріалу від коефіцієнта перерізу сталевого профілю та нормованої межі вогнестійкості для несучої сталеві конструкції. Такий підхід, на відміну від ГОСТ Р 53295 [3], дозволяє визначати значення мінімальної товщини вогнезахисного матеріалу, яке забезпечує нормовану межу вогнестійкості конструкції.

Мета даної роботи полягала в аналізі сучасних європейських методів оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів різних типів для будівельних конструкцій. Для досягнення цієї мети визначено типи вогнезахисних матеріалів для будівельних конструкцій та основні положення методів оцінювання їх вогнезахисної здатності, які встановлено в європейських нормативних документах. Також надано терміни і визначення, які стосуються типів вогнезахисних матеріалів і оцінювання їх вогнезахисної здатності, що наведені у цих документах.

Типи вогнезахисних матеріалів для будівельних конструкцій встановлено у настановах щодо технічного схвалення

\*E-mail: novak.s.fire@gmail.com

вогнезахисних матеріалів в Європі: ETAG № 018-1 [5], ETAG № 018-2 [6], ETAG № 018-3 [7], ETAG № 018-4 [8].

Відповідно до зазначених настанов вогнезахисні матеріали поділено на такі типи матеріалів, що пов'язані з конструкціями, для захисту яких їх передбачено:

- 1-й тип: вогнезахисні матеріали у вигляді горизонтальних захисних екранів;
- 2-й тип: вогнезахисні матеріали у вигляді вертикальних захисних екранів;
- 3-й тип: вогнезахисні матеріали для захисту несучих бетонних конструкцій;
- 4-й тип: вогнезахисні матеріали для захисту несучих сталевих конструкцій;
- 5-й тип: вогнезахисні матеріали для захисту несучих сталезалізобетонних конструкцій;
- 6-й тип: вогнезахисні матеріали для захисту пустотілих сталевих колон, заповнених бетоном;
- 7-й тип: вогнезахисні матеріали для захисту несучих дерев'яних конструкцій;
- 8-й тип: вогнезахисні матеріали, які підвищують вогнестійкість протипожежних перешкод, до яких не встановлено вимоги стосовно несучої здатності;
- 9-й тип: вогнезахисні матеріали, які підвищують вогнестійкість інженерних систем будинків;
- 10-й тип: інші передбачувані використання, пов'язані з підвищенням вогнестійкості, які не належать до типів 1 – 9.

Залежно від категорії використання вогнезахисних матеріалів, що стосується умов навколишнього середовища, вогнезахисні матеріали поділено на такі типи:

Тип X: Вогнезахисні матеріали, призначені для використання за будь-яких умов (усередині приміщень, частково незахищених просторах і відкритих просторах).

Тип Y: Вогнезахисні матеріали, призначені для використання всередині приміщень і в частково незахищених просторах. Частково незахищеними називають простори, де можливі від'ємні температури, але куди не потрапляє дощ і вплив ультрафіолетового випромінювання обмежено (але оцінювання впливу ультрафіолетового випромінювання не здійснюють).

Тип Z1: Вогнезахисні матеріали, призначені для використання всередині приміщень за відносної вологості повітря не нижче ніж 85 %, за винятком випадків, коли температури нижчі за 0 °C.

Тип Z2: Вогнезахисні матеріали, призначені для використання всередині приміщень за відносної вологості повітря нижче ніж 85 %, за винятком випадків, коли температури нижчі за 0 °C.

Вогнезахисні матеріали, які відповідають вимогам щодо типу X, відповідають також вимогам щодо решти типів. Матеріали, які відповідають вимогам щодо типу Y, відповідають також вимогам щодо виробів типів Z1 і Z2. Матеріали, які відповідають вимогам щодо типу Z1, відповідають також вимогам щодо виробів типу Z2.

Залежно від поведінки вогнезахисних матеріалів при тепловому впливі під час пожежі (змінення фізичної форми, наявність хімічних реакцій) їх поділяють на реактивні та пасивні вогнезахисні матеріали. Реактивними вогнезахисними матеріалами є матеріали, склад яких спеціально підібрано з таким розрахунком, щоб забезпечити перебіг хімічної реакції під час нагрівання, з тим щоб змінився їх фізичний стан, в такий спосіб забезпечуючи вогнезахист за рахунок теплоізоляційного та ендотермічного ефектів. Пасивні вогнезахисні матеріали – це матеріали, які не змінюють свого фізичного стану під час нагрівання і забезпечують захист завдяки своїм фізичним і тепловим властивостям. До них можуть належати матеріали, що містять воду або речовини, які поглинають теплоту, і в умовах нагрівання забезпечують поглинання теплоти. Вони можуть мати форму покриттів, що наносять методом розпилювання, штукатурок, матів, панелей і плит.

Оскільки вогнезахисні матеріали виготовляють з різних складників, які спричиняють потребу в додатковому специфічному перевірці та/або оцінюванні, вогнезахисні матеріали поділено на такі 3 сімейства матеріалів:

- реактивні вогнезахисні матеріали для захисту сталевих конструкцій;
- штукатурки, призначені для забезпечення вогнезахисту;
- вогнезахисні панелі, плити і мати.

Система вогнезахисту із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу зазвичай складається з ґрунтового покриття, яке наносять для антикорозійного захисту або як в'язучу речовину, реактивного компонента і зовнішнього покриття. Реактивний компонент таких систем вогнезахисту може являти собою матеріал, що забезпечує утворення теплоізоляційного покриття (бути таким, що спучується), абляційним матеріалом або являти

собою комбінацію таких виробів. Такі реактивні матеріали наносять в один або декілька шарів. Матеріал, що спучується, під тепловим впливом в умовах пожежі утворює спінену масу або звуглений залишок, обмежуючи проникнення теплоти до будівельної конструкції. Абляційний матеріал під тепловим впливом суттєво не спучується, але може поглинати енергію завдяки перебігу хімічних або фізичних процесів і лише повільно розкладається в умовах пожежі, залишаючись достатньо стійким для збільшення проміжку часу до проникнення теплоти.

Штукатурка – це вогнетривке покриття, що наносять шляхом розпилювання. Штукатурка, призначена для вогнезахисту сталевих, бетонних або дерев'яних конструкцій, в основній своїй масі складається з:

- гіпсової або цементної в'язучої речовини, змішаної з одним або більшою кількістю наповнювачів та/або волокнистих матеріалів, або

- мінеральних волокон, змішаних з в'язучою речовиною та/або наповнювачами.

У висушеному стані ці матеріали підвищують вогнестійкість будівельних конструкцій, що складаються з конструкційної сталі, бетону або деревини.

Панелі – це вироби жорсткої конструкції прямокутної форми і поперечного перерізу, товщина якого незмінна і суттєво менша за решту розмірів.

Плита – це вироби напівжорсткої конструкції прямокутної форми і поперечного перерізу, товщина якого незмінна і суттєво менша за решту розмірів. Визначення «вогнезахисні панелі і плити» поширюється також на дрібні вироби квадратної або прямокутної форми, які часто називають «плитками». Для забезпечення вогнезахисту зазвичай закріплюють на поверхні велику кількість таких виробів, встановлюючи їх встик.

Мати – це гнучкі волокнисті (теплоізоляційні) матеріали, постачання яких здійснюють у рулонах або в плоскому вигляді та які можна використовувати для оздоблення.

Вогнезахисні панелі, мати і плити складаються переважно з мінеральних волокнистих матеріалів, вермікуліту, силікату кальцію, цементу, гіпсу або інших придатних для вогнезахисту матеріалів.

Вогнезахисні матеріали усіх наведених вище типів застосовують для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій – здатності конструкцій зберігати їх несучі й (або) огорожувальні функції під час пожежі.

Вогнезахисні матеріали не мають вогнестійкості окремо від будівельних конструкцій, які вони захищають. Тому оцінювання вогнезахисної здатності цих матеріалів пов'язане з оцінюванням вогнестійкості будівельних конструкцій, до складу яких вони входять.

Оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій (окремої конструкції, частини конструктивної системи або конструктивної системи в цілому), у тому числі із застосуванням вогнезахисних матеріалів, враховує такі етапи [9, 10]:

- вибір проектних сценаріїв пожежі;
- визначення відповідних температурних режимів пожежі;
- визначення підвищення температури (теплого стану) в будівельних конструкціях та (або) напружено-деформованого стану будівельних конструкцій в умовах пожежі.

При оцінюванні вогнестійкості розглядають сценарії реальної або умовної пожежі. Для сценаріїв умовної пожежі застосовують номінальні температурні режими [9 - 11], наприклад, стандартний температурний режим. За результатами оцінювання, проведеного за номінальними температурними режимами, будівельні конструкції класифікують за вогнестійкістю [11 - 13]. У разі застосування вогнезахисних матеріалів, класифікація поширюється на захищену конструкцію, яка містить ці матеріали, але не на самі вогнезахисні матеріали.

Позначення класу вогнестійкості будівельних конструкцій складається з умовних літерних позначень граничних станів і числа, що відповідає нормованій межі вогнестійкості у хвилинах, з ряду: 15; 20; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180; 240; 360. Наприклад, R 30, REI 120.

Розрізняють такі основні види граничних станів будівельних конструкцій з вогнестійкості:

- граничний стан за ознакою втрати несучої здатності (умовне літерне позначення R);
- граничний стан за ознакою втрати цілісності (умовне літерне позначення E);
- граничний стан за ознакою втрати теплоізолювальної здатності (умовне літерне позначення I).

Додаткові види граничних станів з вогнестійкості (наприклад, стійкість до теплового випромінювання, стійкість до механічного впливу) встановлюють у стандартах на методи випробувань на вогнестійкість конструкцій конкретних типів.

Межа вогнестійкості конструкції – це показник вогнестійкості конструкції, який

визначається проміжком часом від початку вогневого впливу за номінальним температурним режимом до настання нормованих для даної конструкції граничних станів з вогнестійкості [13].

Класифікацію з вогнестійкості захищених будівельних конструкцій, які містять вогнезахисні матеріали, так само, як і незахищених будівельних конструкцій, визначають, користуючись результатами оцінювання вогнестійкості, отриманими шляхом випробувань, а також за відповідними методами розрахунку, наприклад, за такими, які передбачено будівельними Єврокодами [1, 9, 14 - 18]. З метою визначення впливу вогнезахисних матеріалів різних типів на вогнестійкість будівельних конструкцій (вогнезахисної здатності цих матеріалів) та класів з вогнестійкості захищених будівельних конструкцій застосовують методи випробувань, наведені в стандартах серії EN 13381 [19 - 27].

Основними положеннями цих методів є те, що для оцінювання вогнезахисної здатності проводять випробування зразків будівельної конструкції, для складу якої входить вогнезахисний матеріал. Під час цих випробувань зразки встановлюють у вогневу піч, в якій створюють стандартний температурний режим. За допомогою термоелектричних перетворювачів (термопар), розташованих у певних місцях на зразках, визначають дані щодо температури зразків для різної тривалості вогневого впливу. За результатами вимірювання температур визначають залежності між тривалістю вогневого впливу за стандартним температурним режимом, товщиною вогнезахисного матеріалу та граничною температурою конструктивного матеріалу. У деяких стандартах серії EN 13381 альтернативно до терміну «гранична температура» застосовують терміни «критична температура» та «проектна температура». Отримані результати випробувань публікують з метою їх використання в будівельних Єврокодах для розрахунку вогнестійкості будівельних конструкцій, у тому числі і для визначення мінімальних значень товщини вогнезахисних матеріалів, за яких забезпечується нормована вогнестійкість.

Випробування, які проводять за зазначеними методами, а також відповідні процедури, яких дотримуються, залежать від:

- типу захисного матеріалу:
- а) горизонтальні екрани;
- б) вертикальні екрани;

в) вогнезахисні покриття, обшивки та облицювання вогнезахисними штукатурками, плитами, панелями і матами.

– типу будівельних конструкцій, що підлягають захисту:

- а) сталеві;
- б) залізобетонні;
- в) сталезалізобетонні;
- г) дерев'яні;
- д) алюмінієві.

Методи випробування містять інформацію щодо:

- зразків для випробувань;
- сфери прямого застосування результатів випробувань;
- постанови щодо конструкції зразків для випробувань, у тому числі стандартної конфігурації конструкцій, що підлягають захисту.

До чинників, від яких залежить кількість випробувань, які потрібно провести, належать, окрім усіх інших, такі:

- а) тип конструкцій, які підлягають вогнезахисту, наприклад, дерев'яне перекриття, залізобетонна стіна, сталева балка;
- б) тип вогнезахисного матеріалу, наприклад, горизонтальний екран, плита.

Розглянемо більш детально деякі положення методів оцінювання вогнезахисної здатності, які наведено в стандартах серії EN 13381 [19 - 27].

Для вогнезахисних матеріалів у вигляді горизонтальних захисних екранів випробування проводять відповідно до EN 13381-1 [19]. Горизонтальний захисний екран (horizontal protective membrane) – це горизонтальне покриття або стеля із каркасною конструкцією, кріпленням і ізоляційними матеріалами, які або підвішені, або безпосередньо прикріплені до будівельної конструкції для підвищення її вогнестійкості [19]. Зазначений в цьому стандарті метод випробувань застосовний для горизонтальних захисних екранів, які мають зазор до будівельної конструкції не менше ніж 5 мм, в іншому випадку використовують альтернативні методи випробування, які наведено в інших частинах стандарту серії EN 13381 [21 - 27].

Під час випробувань за EN 13381-1 стандартну горизонтальну будівельну конструкцію разом з її опорними елементами, на яку нанесено горизонтальний захисний екран, що має використовуватись як перешкода для поширення вогню знизу, піддають випробуванню за стандартного температурного режиму із заздалегідь заданим навантаженням, а

також в умовах спирання та з обмеженнями, передбаченими цим стандартом. За отриманими експериментальними даними визначають залежності від тривалості вогневого впливу температури у просторі між горизонтальним екраном і будівельною конструкцією та температури на поверхні цієї конструкції. Ці залежності публікують з метою їх використання в будівельних Єврокодах EN 1992-1-2, EN 1993-1-2, EN 1994-1-2, EN 1995-1-2.

Для вогнезахисних матеріалів у вигляді вертикальних захисних екранів випробування проводять відповідно до EN 13381-2 [20]. Вертикальний захисний екран (vertical protective membrane) – це матеріал або конструкція, які встановлюють перед вертикальною будівельною конструкцією і призначені для підвищення її вогнестійкості [20]. Зазначений в цьому стандарті метод випробувань застосовний для вертикальних захисних екранів, які мають зазор до будівельної конструкції не менше ніж 5 мм, в іншому випадку використовують альтернативні методи випробування, які наведено в інших частинах стандарту серії EN 13381 [21 - 27].

Під час випробувань за EN 13381-2 застосовують такі стандартні вертикальні будівельні конструкції:

- сталеві колони;
- залізобетонні колони;
- пустотілі сталеві колони, заповнені бетоном;
- дерев'яні колони;
- алюмінієві колони.

Упродовж цих випробувань здійснюють вимірювання температури в заглибленнях і на поверхні колон. За цими даними будують графіки змінювання температури в заглибленнях і на поверхні колон. Граничні значення температури для певних видів конструкційних матеріалів, що використовуються, для яких визначають несучу здатність, визначають за величинами температур у заглибленнях, а також температур на поверхні колон. Вогнезахисні матеріали характеризують за результатами випробувань, поданими в формі проміжку часу, за який

досягаються граничні значення температур. Отримані залежності публікують з метою їх використання в будівельних Єврокодах EN 1992-1-2, EN 1993-1-2, EN 1994-1-2, EN 1995-1-2, EN 1999-1-2.

Для вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту несучих бетонних конструкцій, проводять випробування відповідно до EN 13381-3 [21]. Під час цих випробувань застосовують такі стандартні залізобетонні конструкції:

- залізобетонні плити;
- залізобетонні балки.

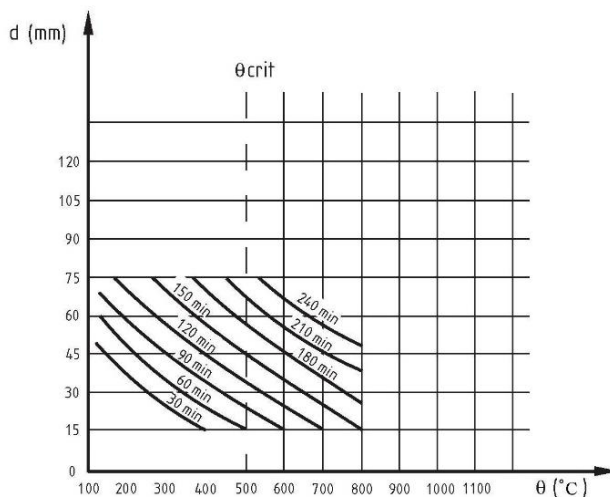
Упродовж цих випробувань здійснюють вимірювання температури на поверхні і всередині бетону та арматури, вбудованої в нього. За цими даними для кожного значення товщини  $d_p$  вогнезахисного матеріалу, що випробовували, будують графіки залежності вимірюваних значень температури від глибини в залізобетонному зразку для випробування, наносячи значення з кроком 30 хв для всіх груп термопар згідно з описом, наданим у стандарті на метод випробування, як наведено на рисунку 1.

Виходячи з цих даних, через кожні 30 хв реєструють значення глибини  $d_{\square\square}$  залізобетонному зразку, за яких мають місце граничні (критичні) значення температури  $\square_{crit}$ , наприклад, 300 °C, 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C і 650 °C. Значення  $d_{\square}$  наносять на графік залежності від товщини вогнезахисного матеріалу. Нанесені на графік значення з'єднують прямою лінією, як наведено на рисунку 2.

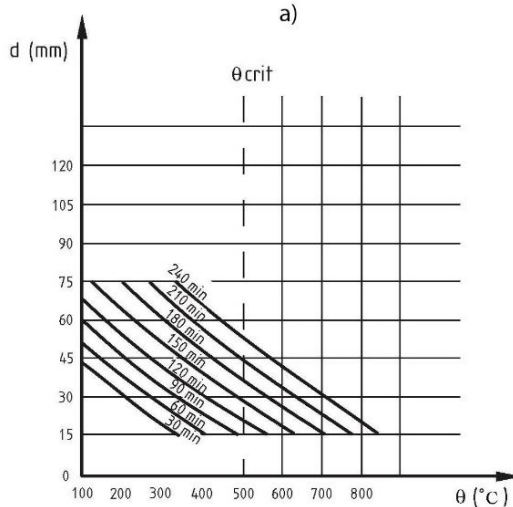
Результати вимірювання температури і спостереження, одержані під час проведення цих випробувань, використовують для подання такої інформації:

- залежності між температурою бетону на різній глибині, проміжком вогневого впливу і товщиною вогнезахисного матеріалу;
- еквівалентної товщини бетону;
- здатності до зчеплення вогнезахисного матеріалу з бетонною основою.

Ці дані публікують з метою їх використання в будівельному Єврокодi EN 1992-1-2.



а)



б)

Рисунок 1 – Залежності температури  $\theta$  від глибини в бетоні  $d$ :  
 а) – для мінімальної  $d_{p(\min)}$  товщини вогнезахисного матеріалу;  
 б) – для максимальної  $d_{p(\max)}$  товщини вогнезахисного матеріалу

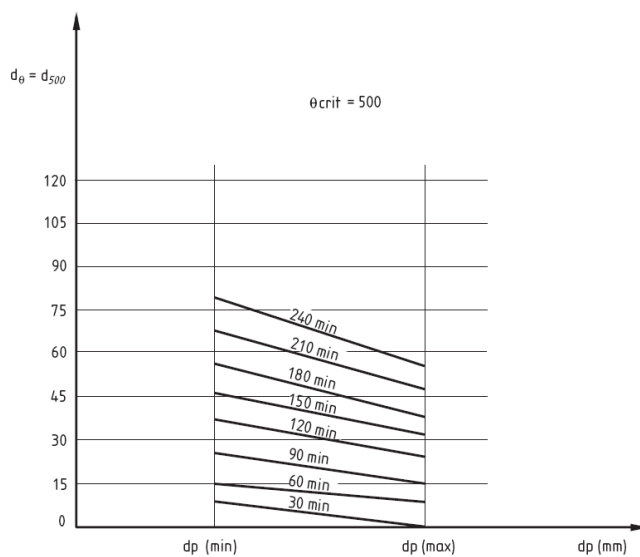


Рисунок 2 – Залежність товщини  $d_p$  вогнезахисного матеріалу від глибини в бетоні  $d_\theta$  для граничного значення температури  $\theta_{crit} = 500^\circ\text{C}$

Для вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту несучих сталевих конструкцій, випробування проводять відповідно до EN 13381-4 [22] (для пасивних вогнезахисних матеріалів) або EN 13381-8 [26] (для реактивних вогнезахисних матеріалів). Крім цього, для захищених сталевих балок з отворами здійснюють додаткові випробування за EN 13381-9 [27]. Під час цих випробувань застосовують сталеві колони і балки різних профілів, на які нанесено вогнезахисні матеріали. Стандарний перелік цих профілів визначають залежно від:

- а) діапазону коефіцієнтів перерізу профілів, що має бути охоплений;
- б) діапазону товщини вогнезахисного матеріалу;
- в) методу оцінювання експериментальних даних, яким потрібно користуватися;
- г) типу вогнезахисного матеріалу: пасивний або реактивний.

Упродовж випробувань вимірюють температуру в ряді точок поверхні сталевих колон і балок. Для оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисного матеріалу використовують тільки дані щодо температури коротких сталевих колон (їх випробовують без навантаження). Разом з цим, ці дані коригують з урахуванням здатності до зчеплення, а також різниці товщини вогнезахисного матеріалу на

довгих і коротких балках. Дані стосовно здатності вогнезахисних матеріалів залишатися неушкодженими і такими, які утримуються на випробуваному сталевому профілі (їх зчеплення з основою), визначають за результатами порівняння значень температури поверхні на навантажених і ненавантажених балках і колонах.

Оцінювання здійснюють, користуючись одним з таких методів:

- а) методом диференціального аналізу;
- б) методом числового регресійного аналізу;
- в) методом графічного аналізу.

В результаті проведення оцінювання отримують ряд таблиць і графічних відображень, які стосуються проміжків часу, що відповідають значенням нормованої межі вогнестійкості 15 хв, 30 хв, 45 хв, 60 хв, 120 хв, 180 хв і 240 хв. Кожна таблиця або графік показують мінімальну товщину вогнезахисного матеріалу, необхідну для того, щоб для сталевих конструкцій, що характеризуються значеннями коефіцієнта перерізу ( $A_m / V$ ) з інтервалом  $20 \text{ м}^{-1}$ , не було перевищено значення проектної (критичної) температури 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C, 650 °C, 700 °C, 750 °C і, за необхідності, вищі її значення (приклад надання результатів у табличній формі наведено в таблиці 1).

Таблиця 1 – Приклад надання даних у табличній формі Клас вогнестійкості R 30

Проектна температура, °C	350	400	450	500	550	600	650	700	750
$A_m/V$	Товщина вогнезахисного матеріалу, за якої температура нижча за проектну								
40									
60									
...									
380									
400									

Надання даних щодо визначення характеристики вогнезахисної здатності залежить від процедури оцінювання, якою користуються:

- а) для методу, що передбачає використання диференціального рівняння (якщо ним користуються), як підґрунтя для розрахунку ефективної теплопровідності використовують значення ефективного коефіцієнта теплопровідності залежно від температури, а також значення питомої масової теплоємності  $c_p$  та густини  $\rho_{protection}$  вогнезахисного матеріалу. Значення модифікованого коефіцієнта (метод зі змінною  $\lambda$ ) або змінних значень  $S_o$  (метод сталої  $\lambda$ ) беруть такими, які вказано в стандарті на метод випробування;

- б) для числового регресійного аналізу (якщо ним користуються) складають рівняння лінійної регресії з використанням змінених значень коефіцієнтів регресії;

в) для методів, що передбачають графічне надання результатів, надають графіки, на яких вказано:

- для заданої проектної температури – проміжок часу, необхідний для досягнення проектної температури, залежно від коефіцієнта перерізу;
- для заданих проміжків часу, що відповідають значенням нормованої межі вогнестійкості – проектну температуру залежно від коефіцієнта перерізу.

Отримані результати оцінювання публікують з метою їх використання в

будівельних Єврокодах EN 1993-1-2 або EN 1994-1-2.

Для вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту несучих сталезалізобетонних конструкцій, випробування проводять відповідно до EN 13381-5 [23]. Під час цих випробувань застосовують стандартні композитні сталезалізобетонні плити, на які нанесено вогнезахисні матеріали. Упродовж випробувань вимірюють температуру на поверхні і в заглибленнях сталезалізобетонних плит і визначають:

- проміжок часу до досягнення температури профільованого сталевих листа 350 °C для кожного значення товщини вогнезахисного матеріалу;
- графік залежності вимірюваного проміжку часу досягнення температури профільованого сталевих листа 350 °C від товщини вогнезахисного матеріалу;
- значення і графік залежності еквівалентної товщини бетону для кожного значення товщини вогнезахисного матеріалу;
- значення і графік залежності граничної тривалості вогневого впливу для кожного значення товщини вогнезахисного матеріалу.

Результати вимірювання температури і спостереження, одержані під час проведення випробувань, використовують для подання такої інформації:

- залежності між температурою сталевих листів, проміжком часу вогневого впливу і товщиною вогнезахисного матеріалу;
- еквівалентної товщини бетону;
- здатності до зчеплення вогнезахисного матеріалу.

Ці дані публікують з метою їх використання в будівельному Єврокодi EN 1994-1-2.

Для вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту пустотілих сталевих колон, заповнених бетоном, випробування проводять відповідно до EN 13381-6 [24]. Під час цих випробувань застосовують стандартні сталезалізобетонні колони, на які нанесено вогнезахисні матеріали. Упродовж випробувань вимірюють температуру на поверхні сталевих колон і визначають:

- проміжок часу до досягнення температури сталевих поверхні пустотілої сталевих колони, заповненої бетоном, за всіх значень товщини вогнезахисного матеріалу, які були при випробуваннях;
- графік залежності температури сталевих поверхні колони, заповненої бетоном, від товщини вогнезахисного матеріалу.

Результати вимірювання температури і спостереження, одержані під час проведення випробувань, використовують для подання такої інформації:

- залежності між температурою сталевих поверхні сталевих колони, заповненої бетоном, проміжком часу вогневого впливу і товщиною вогнезахисного матеріалу;
- здатності до зчеплення вогнезахисного матеріалу.

Ці дані публікують з метою їх використання в будівельному Єврокодi EN 1994-1-2.

Для вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту несучих дерев'яних конструкцій, випробування проводять відповідно до EN 13381-7 [25]. Під час цих випробувань застосовують стандартні дерев'яних конструкцій – перекриття та (або) балки, на які нанесено вогнезахисні матеріали. Упродовж випробувань вимірюють температуру на поверхні та всередині стандартних дерев'яних конструкцій і визначають:

- графік залежності всіх відповідних окремих і середніх значень температури в конструкції від тривалості вогневого впливу;
- проміжок часу до початку зуглення і швидкість зуглення як для навантаженого, так і для ненавантаженого зразків для випробувань.

Результати вимірювання температури і спостереження, одержані під час проведення випробувань, використовують для подання такої інформації:

- залежності між температурою поверхні деревини під шаром вогнезахисного матеріалу, а також температурою всередині деревини, проміжком часу вогневого впливу і товщиною вогнезахисного матеріалу;
- здатності до зчеплення вогнезахисного матеріалу;
- швидкості зуглення, а також швидкості просування лінії зуглення вглиб деревини.

Ці дані публікують з метою їх використання в будівельному Єврокодi EN 1995-1-2.

Для вогнезахисних матеріалів 8-го, 9-го та 10-го типів відсутні окремі стандарти, які визначають методи оцінювання їх вогнезахисної здатності. Оцінювання цієї здатності для цих вогнезахисних матеріалів проводять за результатами випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних типів (наприклад, стін, перекриттів), до складу яких входять вогнезахисні матеріали зазначених типів. Перелік стандартів, за яких проводять ці випробування, наведено в EN 13501-2 [11] та EN 13501-3 [12].



Зазначені вище методи випробувань пов'язані з оцінюванням вогнестійкості захищених будівельних конструкцій, до складу яких входять вогнезахисні матеріали. Ці методи визначають взаємозв'язок між нормованою межею вогнестійкості (класом вогнестійкості) будівельних конструкцій, яку встановлюють за сценарію умовної пожежі і стандартним температурним режимом, і параметрами вогнезахисних матеріалів. Наприклад, для вогнезахисних покриттів, призначених для несучих сталевих конструкцій, за методами, наведеними в EN 13381-4, EN 13381-8, EN 13381-9, визначають значення мінімальної товщини покриття, за яких забезпечуються нормовані межі (класи) вогнестійкості цих конструкцій. У той же час у стандарті EN 13501-2 встановлено класифікацію покриттів стін і стель за вогнезахисною здатністю. У цьому стандарті визначено, що цей термін "покриття" відноситься до зовнішньої частини вертикальних будівельних конструкцій, а також до самої нижньої частини горизонтальних і похилих конструкцій. Відповідно до цієї класифікації вогнезахисна здатність таких покриттів являє собою здатність покриття стіни або стелі забезпечувати захист матеріалу, що знаходиться під цим покриттям, від займання, зуглення або іншого пошкодження протягом заданого проміжку часу. При цьому покриття, позначене символом K<sub>1</sub> або K<sub>2</sub>, являє собою покриття, що забезпечує упродовж класифікаційного проміжку часу (10 хв, 30 хв або 60 хв) передбачений захист матеріалів, які знаходяться під покриттям. Тоб-то ці положення щодо вогнезахисної здатності зазначених покриттів, які наведено в EN 13501-2, не стосуються безпосередньо питання оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів, яке пов'язане з визначенням межі (класу) вогнестійкості захищених будівельних конструкцій.

З вищенаведеного огляду європейських нормативних документів випливає, що сучасні європейські методи оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів різних типів, що пов'язані з будівельними конструкціями, для захисту яких їх передбачено, і визначені у настанові щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі ETAG № 018-1, встановлено у стандартах серії EN 13381, а також у стандартах щодо методів випробувань на вогнестійкість

будівельних конструкцій конкретних типів, перелік яких наведено в EN 13501-2 та EN 13501-3. При застосуванні цих методів вогнезахисну здатність вогнезахисних матеріалів оцінюють шляхом випробувань зразків будівельних конструкцій, для складу яких входить вогнезахисний матеріал, які проводять за сценарію умовної пожежі і стандартним температурним режимом.

За результатами випробувань, проведених за стандартами серії EN 13381, визначають залежності між тривалістю вогневого впливу за стандартним температурним режимом, товщиною та іншими параметрами вогнезахисного матеріалу і граничною (критичною) температурою конструктивного матеріалу. При цьому мінімальні значення товщини вогнезахисних матеріалів, за яких забезпечується нормована межа (клас) вогнестійкості, встановлюють за результатами випробувань тільки для матеріалів, призначених для захисту несучих сталевих конструкцій. Для визначення цих мінімальних значень товщини для вогнезахисних матеріалів інших типів застосовують отримані за стандартами серії EN 13381 експериментальні залежності та положення будівельних Єврокодів.

Будівельними Єврокодами визначено, що при оцінюванні вогнестійкості будівельних конструкцій розглядають сценарії реальної або умовної пожежі. Стандарти серії EN 13381 та стандарти щодо методів випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних типів, перелік яких наведено в EN 13501-2 та EN 13501-3, застосовують сценарій умовної пожежі за стандартного температурного режиму. Відповідно усі результати оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів, отримані за зазначеними стандартами, стосуються теж тільки сценарію умовної пожежі за стандартного температурного режиму. Зокрема, це стосується результатів розрахунку ефективного коефіцієнта теплопровідності вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту несучих сталевих конструкцій. При застосуванні температурного режиму, який відрізняється від стандартного, значення цього коефіцієнта теплопровідності може бути іншим. Тому залишається невизначеним питання щодо оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів для сценарію реальної пожежі.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. 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).
2. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
3. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности.
4. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ).
5. ETAG № 018-1:2004 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 1: General (Настанови щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі – Частина 1: Загальні вимоги).
6. ETAG № 018-2:2013 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements (Настанови щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі – Частина 2: Реактивні вогнезахисні матеріали для захисту сталевих конструкцій).
7. ETAG № 018-3:2013 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 3: Renderings and rendering kits intended for fire resisting applications (Настанови щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі – Частина 3: Штукатурка і комплекти, до складу яких вона входить, для забезпечення вогнезахисту).
8. ETAG № 018-4:2011 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 4: Fire protective board, slab and mat products and kits (Настанови щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі – Частина 4: Вогнезахисні панелі, плити і мати та комплекти, до складу яких вони входять).
9. 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) з технічною поправкою EN 1991-1-2:2002/AC:2009.
10. ДБН В.1.2-7:2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
11. EN 13501-2:2007 Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services (Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій – Частина 2: Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість, крім складників вентиляційних систем).
12. EN 13501-3:2005+A1:2009 Fire classification of construction products and building elements – Part 3: Classification using data from fire resistance tests on products and elements used in building service installations: fire resisting ducts and fire dampers (Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій – Частина 3: Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість виробів та конструкцій, які використовують в інженерних системах будівель: вогнестійкі повітроводи та протипожежні клапани).
13. ДСТУ Б В.1.1-4-98\* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.
14. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій – Частина 1-2: Загальні положення – Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
15. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 4: Проектування сталезалізобетонних конструкцій – Частина 1-2: Загальні положення – Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
16. EN 1995-1-2:2004 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 5: Проектування дерев'яних конструкцій – Частина 1-2: Загальні положення – Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
17. EN 1996-1-2:2005 Eurocode 6: Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 6: Проектування кам'яних конструкцій – Частина 1-2: Загальні положення – Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
18. EN 1999-1-2:2007 Eurocode 9: Design of aluminum structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 9: Проектування алюмінієвих конструкцій – Частина 1-2: Загальні положення – Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
19. EN 13381-1:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes (Методи випробування щодо визначення впливу на вогнестійкість будівельних конструкцій – Частина 1: Горизонтальні захисні екрани).
20. EN 13381-2:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes (Методи випробування щодо визначення впливу на вогнестійкість будівельних конструкцій – Частина 2: Вертикальні захисні екрани).
21. EN 13381-3:2015 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 3: Applied protection to concrete members (Методи випробування щодо визначення впливу на вогнестійкість будівельних конструкцій – Частина 3: Вогнезахисні матеріали для бетонних конструкцій).
22. EN 13381-4:2013 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members (Методи випробування з метою визначення впливу на вогнестійкість елементів конструкцій – Частина 4: Пасивні вогнезахисні матеріали для сталевих конструкцій).
23. EN 13381-5:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 5: Applied protection to concrete/profiled sheet steel composite members (Методи випробування щодо визначення впливу на вогнестійкість будівельних конструкцій – Частина 5: Вогнезахисні матеріали для комбінованих конструкцій з бетону і профільованих сталевих листів).
24. EN 13381-6:2012 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 6: Applied protection to concrete filled hollow steel columns (Методи випробування щодо визначення впливу на вогнестійкість будівельних конструкцій – Частина 6: Вогнезахисні матеріали для пустотілих сталевих колон, заповнених бетоном).
25. EN 13381-7:2017 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members –

- Part 7: Applied protection to timber members (Методи випробування щодо визначення впливу на вогнестійкість будівельних конструкцій – Частина 7: Вогнезахисні матеріали для дерев'яних конструкцій).
26. EN 13381-8:2013 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members (Методи випробування з метою визначення впливу елементів конструкцій на вогнестійкість – Частина 8: Реактивні вогнезахисні матеріали для сталевих конструкцій).
27. EN 13381-9:2015 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 9: Applied fire protection systems to steel beams with web openings (Методи випробування з метою визначення впливу елементів конструкцій на вогнестійкість – Частина 9: Системи вогнезахисту для сталевих балок з отворами).

## **ANALYSIS OF MODERN EUROPEAN METHODS OF EVALUATION OF FIREPROOF ABILITY OF FIREPROOF MATERIALS FOR BUILDING CONSTRUCTIONS**

*S. Novak<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), Senior Fellow, V. Drizhd<sup>2</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), O. Dobrostan<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.)*

<sup>1</sup>*The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine*

<sup>2</sup>*Scientific and manufacturing enterprise "Spetsmaterialy", Ukraine*

---

### **KEYWORDS**

building construction, fireproof ability, fireproof material, fire resistance, methods of evaluation, building Eurocodes, standard temperature regime.

### **ANNOTATION**

The main provisions and analysis of modern European methods for evaluation of fireproof ability of fireproof materials of various types related to building constructions for the protection of which they are provided. The peculiarities of the procedures for evaluation of fireproof ability of these materials and the application of the results of this evaluation in the building Eurocodes are established.

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЕВРОПЕЙСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*С.В. Новак<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., В.Л. Дрижд<sup>2</sup>, канд. техн. наук, А.В. Добростан<sup>1</sup>, канд. техн. наук*

<sup>1</sup>*Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина*

<sup>2</sup>*Научно-производственное предприятие «Спецматериали»,*

---

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

строительная конструкция, огнезащитная способность, огнезащитный материал, огнестойкость, методы оценки, строительные Еврокоды, стандартный температурный режим.

### **АННОТАЦИЯ**

Приведены основные положения и анализ современных европейских методов оценки огнезащитной способности огнезащитных материалов различных типов, связанные со строительными конструкциями, для защиты которых они предусмотрены. Установлены особенности процедур оценки огнезащитной способности этих материалов и применение результатов этой оценки в строительных Еврокодах.