

ЗМІСТ

1	Сфера застосування.....	1
2	Нормативні посилання	1
3	Терміни та визначення понять.....	2
4	Позначки.....	9
5	Дії на конструкції під час пожежі.....	20
5.1	Загальні положення розрахунку конструкцій на вогнестійкість	20
5.2	Проектні сценарії пожежі.....	21
5.3	Температурний режим.....	21
5.4	Теплотехнічний розрахунок.....	21
5.5	Статичний розрахунок.....	22
5.6	Теплові впливи для теплотехнічного розрахунку.....	22
5.6.1	Загальні положення.....	22
5.6.2	Номінальні температурні режими.....	24
5.6.3	Моделі реальної пожежі.....	25
5.7	Механічні впливи для статичного розрахунку.....	27
5.7.1	Загальні положення.....	27
5.7.2	Одночасність впливів.....	28
5.7.3	Правила сполучення впливів.....	29
6	Основні принципи розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість.....	29
6.1	Вимоги вогнестійкості.....	29
6.1.1	Основні вимоги.....	29
6.1.2	Номінальний вогневий вплив.....	30
6.1.3	Параметричний вогневий вплив.....	30
6.2	Теплові та механічні впливи.....	30
6.3	Розрахункові значення властивостей матеріалів.....	30
6.4	Методи перевірки.....	31
6.4.1	Загальні положення.....	31
6.4.2	Розрахунок окремої конструкції.....	32
6.4.3	Розрахунок частини конструктивної системи.....	33
6.4.4	Загальний розрахунок конструктивної системи.....	33
6.5	Властивості матеріалів.....	34
6.5.1	Загальні положення.....	34
6.5.2	Механічні властивості сталей.....	34
6.5.3	Теплофізичні властивості.....	37
6.6	Методика розрахунку на вогнестійкість.....	40
6.6.1	Загальні положення.....	40
6.6.2	Спрощені методи розрахунку.....	41
6.6.3	Уточнені розрахункові методи.....	59
Додаток А	Еквівалентна тривалість вогневого впливу.....	63
Додаток Б	Кутовий коефіцієнт.....	65
Додаток В	Розрахункове питоме пожежне навантаження.....	70
Додаток Г	Параметричні температурні режими.....	78

Додаток Д	Теплові впливи на зовнішні конструкції – спрощений метод розрахунку.....	81
Додаток Е	Локальні пожежі.....	89
Додаток Ж	Уточнені моделі пожежі.....	92
Додаток И	Деформаційне зміцнення вуглецевої сталі за підвищених температур.....	95
Додаток К	Вогнестійкість з'єднань.....	97
Додаток Л	Основні позначки, що прийняті в ДСТУ, і їх відповідники у ДБН В.2.6-198:2014.....	101
Додаток М	Поперечні перерізи класу 4.....	102
Додаток Н	Передача тепла до зовнішніх сталевих конструкцій.....	104
Додаток П	Приклади розрахунку на вогнестійкість.....	124
Додаток Р	Бібліографія.....	145

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ПРОЕКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

DESIGN OF STEEL STRUCTURES STRUCTURAL FIRE DESIGN

Чинний від 201_ _ _ _ _

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Цей стандарт встановлює вимоги щодо проектування сталевих конструкцій будівель і споруд у разі пожежі із застосуванням лише пасивних методів вогнезахисту.

1.2 Цей стандарт застосовують для сталевих конструкцій, до яких встановлені вимоги щодо збереження несучої здатності у разі вогневого впливу на них, з метою запобігання передчасному руйнуванню будівлі.

1.3 Цей стандарт встановлює принципи та правила проектування конструкцій для визначених вимог щодо несучої здатності та рівнів роботи.

1.4 Цей стандарт встановлює вимоги щодо проектування будівель і споруд або їх частин, які належать до сфери застосування ДБН В.2.6-198 та запроектовані відповідно до його вимог.

1.5 Методи, що наведені в цьому стандарті, застосовують для будь-якої марки сталі, для якої наявні властивості за підвищених температур.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні акти та нормативні документи:

ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва

ДБН В.1.2-2-2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування

прДСТУ-Н Б В.2.6-XXX:201X

ДБН В.1.2-7:2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека

ДБН В.1.2-14:2009 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ

ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування

ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги

ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002,NEQ)

ДСТУ-Н Б В.2.6-196:2014 Настанова з проектування залізобетонних балок. Розрахунок на вогнестійкість

ДСТУ-Н Б В.2.6-197:2014 Настанова з проектування залізобетонних колон. Розрахунок на вогнестійкість

ГОСТ 26020-83 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент (Двутавры сталеви гарячекатані з параллельними гранями полиць. Сортамент)

ГОСТ 27772-88 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия (Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови)

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті використано терміни, установлені в ДБН В.1.1-7, ДБН В.1.2-7, ДБН В.1.2-14: протипожежний відсік, граничний стан, навантажувальний ефект.

Нижче наведено терміни, що додатково використані у цьому стандарті, та визначення позначених ними понять. Відповідники викладених у цьому розділі термінів англійською мовою наведено в [1].

3.1 аналіз окремої конструкції (у разі пожежі)

Теплотехнічний та статичний розрахунки конструкції в умовах вогневого впливу, яку розглядають окремо з відповідними граничними умовами та умовами спирання. Непрямі вогневі впливи не розглядаються, окрім тих, що виникають від температурних градієнтів

3.2 вогнезахисний матеріал

Будь-який матеріал або сполучення матеріалів, що застосовується до конструкції для підвищення її вогнестійкості

3.3 вогнестійкість

Здатність конструктивної системи, її частини або окремої конструкції виконувати несучу та/або огорожувальну функцію для заданого рівня навантаження, визначеного вогневого впливу та визначеного проміжку часу

3.4 вуглецева сталь

У цьому стандарті: марки сталі відповідно до ДБН В.2.6-198

3.5 двозонна модель

Модель пожежі, яка заснована на поділі протипожежного відсіку на декілька таких зон: верхня зона, нижня зона, факел полум'я, зовнішнє навколишнє середовище та стіни. Для верхньої зони приймається рівномірна температура газового середовища

3.6 еквівалентна тривалість вогневого впливу

Тривалість вогневого впливу за стандартним температурним режимом, за якого передбачається отримання такого ж теплового впливу у протипожежному відсіку, як для реальної пожежі

3.7 загальний розрахунок конструктивної системи у разі пожежі

Розрахунок конструктивної системи в цілому, яка повністю або частково зазнає вогневого впливу при пожежі. Непрямі вогневі впливи розглядаються для всієї конструктивної системи

3.8 загальний спалах

Одночасне займання всього пожежного навантаження у протипожежному відсіку

3.9 значення коефіцієнту прямокутного поперечного перерізу

Відношення площі поверхні уявної прямокутної коробки, яка охоплює переріз, що піддається нагріванню, до об'єму сталі

3.10 зовнішній елемент

Розташована за межами будівлі конструкція, яка може зазнати вогневого впливу через прорізи в огорожувальних конструкціях будівлі

3.11 коефіцієнт врахування прорізів

Коефіцієнт, що характеризує умови вентиляції в протипожежному відсіку залежно від площі прорізів у стінах відсіку, висоти цих прорізів та загальної площі поверхонь огорожувальних конструкцій

3.12 коефіцієнт повноти згоряння

Коефіцієнт, який показує повноту згоряння і знаходиться в межах від 0 (відсутність згоряння) до 1 (повне згоряння)

3.13 коефіцієнт поперечного перерізу

Для незахищеної сталеві конструкції – це співвідношення площі поверхні, що зазнає впливу, та об'єму сталі; для захищеної сталеві конструкції – співвідношення площі внутрішньої поверхні облицювання, що зазнає впливу, та об'єму сталі

3.14 коефіцієнт тепловіддачі конвекцією

Конвективний тепловий потік до конструкції, що віднесений до різниці між середньою температурою газового середовища, яке оточує відповідну поверхню окремої конструкції, та температурою цієї поверхні

3.15 коефіцієнт теплового випромінювання (поглинання)

Характеристика здатності поверхні до випромінювання (поглинання), яка дорівнює відношенню теплового потоку, що випромінюється (поглинається) заданою поверхнею, до теплового потоку, що випромінюється (поглинається) поверхнею абсолютно чорного тіла

3.16 критична температура сталеві конструкції

Температура, за якої очікується руйнування сталеві конструкції при рівномірному розподілі температури для заданого рівня навантаження

3.17 кутовий коефіцієнт

Коефіцієнт передачі тепла від поверхні А до поверхні В, визначений як відношення енергії, яку отримує поверхня В, до енергії, яку дифузно випромінювано з поверхні А

3.18 локальна пожежа

Пожежа, що охоплює тільки обмежену площу пожежного навантаження у протипожежному відсіку

3.19 непрямі вогневі впливи

Внутрішні сили та моменти, що спричинені тепловим розширенням

3.20 несуча здатність (R)

Здатність конструктивної системи або окремої конструкції витримувати при пожежі встановлені впливи відповідно до визначених критеріїв

3.21 нормована вогнестійкість

Здатність конструктивної системи, її частини або окремої конструкції протягом визначеного проміжку часу в умовах теплового впливу за стандартним температурним режимом виконувати несучу та/або огорожувальну функцію при встановленому сполученні навантажень

3.22 огорожувальна здатність

Здатність огорожувальної конструкції запобігати поширенню пожежі (наприклад, проходженню полум'я та гарячих газів – див. цілісність) або займанню від її необігрівної поверхні (див. теплоізолювальна здатність)

3.23 огорожувальна конструкція

Несучий або ненесучий елемент (наприклад, стіна), що утворює частину огороження будинку або протипожежного відсіку

3.24 однозонна модель

Модель пожежі, яка заснована на застосуванні усередненої температури газового середовища в протипожежному відсіку

3.25 окрема конструкція

Основна складова конструктивної системи (така як балка, колона, а також стіна, ферма тощо), яка розглядається окремо, з відповідними граничними умовами та умовами спирання

3.26 окремі конструкції конструктивної системи

Окремі конструкції конструктивної системи, які несуть навантаження, включаючи кріплення

3.27 питоме пожежне навантаження

Пожежне навантаження, віднесене до одиниці площі підлоги

3.28 повністю розвинена пожежа

Стан повного охоплення вогнем усіх горючих поверхонь при пожежі у межах визначеного простору

3.29 польова модель

Модель пожежі, що заснована на чисельному розв'язанні диференціальних рівнянь в часткових похідних, що дає можливість визначити зміни термодинамічних та газодинамічних параметрів в усіх точках протипожежного відсіку

3.30 проектна пожежа

Визначений розвиток пожежі, що прийнятий при проектуванні

3.31 проектування за нормальної температури

Проектування згідно з розрахунком за граничними станами для температури навколишнього середовища відповідно до ДБН В.2.6-198

3.32 протипожежна стіна

Стіна між двома частинами будинку (двома будинками), яка має необхідну вогнестійкість і конструктивну стійкість, з урахуванням дії можливих горизонтальних навантажень, у тому числі і при односторонньому обваленні будівельних конструкцій, які до неї примикають

3.33 проектний сценарій пожежі

Визначений сценарій пожежі, на основі якого буде виконано розрахунок

3.34 пожежне навантаження

Вся теплова енергія, що виділяється від згоряння всіх горючих матеріалів у просторі (конструктивні елементи та внутрішнє оснащення)

3.35 рамно-в'язевий каркас

Каркас може класифікуватися як в'язевий, якщо його опір горизонтальним навантаженням забезпечується системою в'язей, яка є достатньо жорсткою, щоб припустити, що вона сприймає всі горизонтальні навантаження

3.36 режим вуглеводневої пожежі

Номінальний температурний режим для представлення впливів пожеж вуглеводневих пожежних навантажень

3.37 результативний тепловий потік

теплота, що поглинута конструкцією, яку віднесено до одиниці площі поверхні та одиниці часу

3.38 ризик виникнення пожежі

Параметр, що враховує ймовірність виникнення пожежі і є функцією площі та розташування протипожежного відсіку

3.39 розрахункова границя текучості

Рівень напруження, для якого діаграма “напруження-деформація” сталі усічена до площадки текучості за визначеної температури

3.40 розрахункове питоме пожежне навантаження

Питоме пожежне навантаження, яке приймають для визначення теплових впливів при проектній пожежі, з урахуванням можливих невизначеностей

3.41 спрощена модель пожежі

Модель пожежі, яка заснована на обмеженій сфері застосування спеціальних фізичних параметрів

3.42 стандартний температурний режим

Номінальний температурний режим, що визначений в ДСТУ Б В.1.1-4, для представлення моделі повністю розвинутої пожежі у протипожежному відсіку

3.43 сценарій пожежі

Якісний опис розвитку пожежі із зазначенням часу ключових моментів, які характеризують дану пожежу і відрізняють її від інших можливих пожеж. Сценарій, зазвичай, визначає процеси загоряння та розвитку пожежі, стадії повного розвитку та загасання пожежі, з урахуванням оточуючого середовища будинку та систем, які впливають на розвиток пожежі

3.44 температурний режим зовнішньої пожежі

Номінальна температурний режим, що визначений у ДСТУ Б В.1.1-4 та призначений для зовнішньої поверхні зовнішніх стін, які можуть зазнавати вогневого впливу з різних частин фасаду, тобто безпосередньо зсередини відповідного протипожежного відсіку або з відсіку, що розташований нижче або суміжно з відповідною зовнішньою стіною

3.45 температурні режими

Залежність температури газового середовища, яке оточує поверхні конструкцій, від часу. Можуть бути:

- **номінальні**: загальноприйняті температурні режими, що призначені для класифікації або перевірки вогнестійкості, наприклад стандартний температурний режим, температурний режим зовнішньої пожежі, режим вуглеводневої пожежі;

- **параметричні**: режими, які встановлюють, ґрунтуючись на моделі пожежі та фізичних параметрах, що визначають умови в протипожежному відсіку

3.46 теплові впливи

Впливи на конструкційну систему, які визначаються тепловим потоком до окремих конструкцій

3.47 теплоізолювальна здатність (I)

Здатність огорожувальної конструкції, що зазнає вогневого впливу з однієї сторони, обмежувати підвищення температури на її необігрівій поверхні нижче встановлених рівнів

3.48 теплотехнічний розрахунок

Визначення підвищення температури в конструкціях, з урахуванням теплових впливів і теплофізичних властивостей матеріалів конструкцій і, у разі потреби, вогнезахисних матеріалів

3.49 уточнена модель пожежі

Розрахункова модель пожежі, що ґрунтується на рівняннях балансу маси та енергії

3.50 цілісність (E)

Здатність огорожувальної конструкції, що зазнає вогневого впливу з однієї сторони, запобігати проникненню полум'я та гарячих газів крізь себе на її необігрівну поверхню

3.51 частина будівлі

Відокремлена частина будівлі з відповідними опорами та граничними умовами

3.52 швидкість виділення тепла (потужність тепловиділення)

Теплота, що виділена при згорянні речовин та матеріалів за одиницю часу

4 ПОЗНАКИ

У цьому стандарті використані такі позначки:

Великі латинські літери

A - площа протипожежного відсіку, m^2 ;

$A_{ind,d}$ - проектне (розрахункове) значення непрямого впливу пожежі, m^2 ;

A_f - площа підлоги протипожежного відсіку, m^2 ;

A_{fi} - площа пожежі, m^2 ;

A_h - площа горизонтальних прорізів у покритті протипожежного відсіку, m^2 ;

$A_{h,v}$ - загальна площа прорізів у огорожувальних конструкціях,
 $A_{h,v}=A_h+A_v$, m^2 ;

A_j - площа поверхні огорожувальних конструкцій j без врахування прорізів, m^2 ;

A_t - загальна площа огорожувальних конструкцій (стіни, стеля і підлога, враховуючи прорізи), m^2 ;

A_v - загальна площа вертикальних прорізів у всіх стінах, $A_v = \sum_i A_{v,i}$, m^2 ;

$A_{v,i}$ - площа « i »-го вікна, m^2 ;

A_i - елементарна площа поперечного перерізу за температури θ , m^2 ;

A_m - площа поверхні конструкції на одиницю довжини, m^2 ;

A_m/V - коефіцієнт перерізу незахищених сталевих конструкцій, m^{-1} ;

A_p/V - коефіцієнт перерізу захищених сталевих конструкцій, m^{-1} ;

A_p - площа поверхні вогнезахисного матеріалу на одиницю довжини конструкції, m^2 ;

C_i - коефіцієнт захищеності i -ї поверхні окремої конструкції;

D - глибина протипожежного відсіку, діаметр пожежі, m ;

E_a - модуль пружності сталі для розрахунку за нормальної температури, МПа;

$E_{a,\theta}$ - тангенс кута нахилу лінійної пружної ділянки діаграми “напруження-деформації” сталі за підвищених температур θ_a ;

$E_{fi,d}$ - розрахунковий навантажувальний ефект у разі пожежі, визначений, враховуючи ефекти температурних видовжень та деформацій;

E_d - розрахункове значення відповідних навантажувальних ефектів від основного сполучення;

$E_{fi,d}$ - стале розрахункове значення навантажувальних ефектів під час пожежі;

$E_{fi,d,t}$ - розрахункове значення навантажувальних ефектів під час пожежі в момент часу t ;

E_g - внутрішня енергія газу, Дж;

$F_{b,Rd}$ - розрахункова несуча здатність болтів, кН;

$F_{b,t,Rd}$ - розрахункова несуча здатність болтів під впливом вогню, кН;

$F_{v,Rd}$ - розрахунковий опір на зріз болта на площину зрізу, визначений з припущенням, що площина зрізу проходить через різьбу болта, кН;

$F_{v,t,Rd}$ - розрахунковий опір болта, завантаженого на зріз, кН;

$F_{w,Rd}$ - розрахунковий опір на одиницю довжини кутового зварного шва, кН;

$F_{w,t,Rd}$ - розрахунковий опір на одиницю довжини кутового зварного шва під впливом вогню, кН;

G_k - характеристичне значення постійного впливу;

H - відстань від вогнища пожежі до стелі, висота протипожежного відсіку, м;

H_u - нижча теплота згоряння, визначена з урахуванням вологи, МДж/кг;

H_{u0} - нижча теплота згоряння сухого матеріалу, МДж/кг;

H_{ui} - нижча теплота згоряння i -го матеріалу, МДж/кг;

I_f - радіаційний тепловий потік з прорізів, кВт/м²;

I_z - радіаційний тепловий потік від полум'я, кВт/м²;

$I_{z,i}$ - радіаційний тепловий потік від полум'я до i -ї поверхні колони, кВт/м²;

L - розрахункова довжина колони на відповідному поверсі, м;

L_c - довжина зони горіння, м;

L_f - довжина полум'я вздовж осі, м;

L_H - горизонтальна проекція полум'я (від фасаду), м;

L_h - горизонтальна довжина полум'я, м

L_L - висота полум'я (від верхньої частини вікна), м

L_x - осьова відстань від вікна до точки, для якої виконують розрахунок, м

$M_{k,i}$ - кількість i -го горючого матеріалу, кг;

$M_{b,fi,t,Rd}$ - розрахункова несуча здатність при поздовжньому згині в момент часу t , кНм;

$M_{fi,t,Rd}$ - розрахункова несуча здатність при згині в момент часу t , кНм;

$M_{fi,\theta,Rd}$ - розрахункова несуча здатність перерізу при згині для постійної температури θ_a , яка дорівнює постійній температурі θ_a в момент часу t у поперечному перерізі, який не зазнає теплового впливу від опор, кНм;

M_{Rd} - згинальний момент у пластичному шарнірі $M_{pl,Rd}$ загального перерізу для проектування за нормальної температури; пружний згинальний момент $M_{el,Rd}$ для проектування за нормальної температури, кНм;

$N_{b,fi,t,Rd}$ - розрахункова несуча здатність конструкції, що працює на стиск, при поздовжньому згині в момент часу t , кН;

N_{Rd} - розрахункова несуча здатність поперечного перерізу $N_{pl,Rd}$ для проектування за нормальної температури, кН;

$N_{fi,\theta,Rd}$ - розрахункова несуча здатність конструкції, що працює на розтяг, для постійної температури θ_a , кН;

$N_{fi,t,Rd}$ - розрахункова несуча здатність конструкції, що працює на розтяг, в момент часу t для нерівномірного розподілу температури по ширині перерізу, кН;

O - коефіцієнт врахування прорізів протипожежного відсіку, $A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$, $m^{1/2}$;

O_{lim} - приведений коефіцієнт врахування прорізів для пожежі, яка регулюється пожежним навантаженням, $m^{1/2}$;

P_{int} - внутрішній тиск, Н/м²;

Q - швидкість (потужність) тепловиділення під час пожежі, тепловий потік, Вт;

Q_c - конвективна складова теплового потоку Q , Вт;

$Q_{fi,k}$ - пожежне навантаження, МДж/м²;

$Q_{fi,k,i}$ - пожежне навантаження i -го матеріалу, МДж/м²;

Q_D^* - коефіцієнт тепловиділення, який залежить від діаметру D локальної пожежі;

Q_H^* - коефіцієнт тепловиділення, який залежить від висоти H протипожежного відсіку;

$Q_{k,1}$ - характеристичне значення головного змінного впливу;

Q_{max} - максимальна швидкість (потужність) тепловиділення, МВт;

Q_{in} - тепловий потік, що надходить через прорізи з газовим потоком, Вт;

Q_{out} - тепловий потік, що виходить через прорізи з газовим потоком, Вт;

Q_{rad} - радіаційний тепловий потік крізь прорізи, Вт;

Q_{wall} - тепловий потік, який передається до поверхонь протипожежного відсіку шляхом випромінювання та конвекції, Вт;

R - універсальна газова стала, $R = 287$ Дж/(кг К);

R_d - розрахункове значення опору окремої конструкції за нормальної температури;

$R_{fi,d,t}$ - розрахункове значення опору окремої конструкції під час пожежі в момент часу t ;

$R_{fi,d,0}$ - значення $R_{fi,d,t}$ для часу $t = 0$;

RHR_f - максимальна швидкість тепловиділення на 1 м^2 ;

T - температура, К;

T_{amb} - температура навколишнього середовища, К;

T_0 - початкова температура, 293 К;

T_f - температура у протипожежному відсіку, К;

T_g - температура газового середовища, К;

T_o - температура полум'я в прорізі, К

T_w - температура полум'я у вікні, К;

T_x - температура фронту полум'я, 813 К;

T_z - температура полум'я вздовж його осі, К;

$T_{z,1}$ - температура полум'я на рівні низу балки, К;

$T_{z,2}$ - температура полум'я на рівні верху балки, К;

V - об'єм конструкції на одиницю довжини, м^3 ;

$V_{fi,t}$ - розрахункова несуча здатність на дію поперечної сили в момент часу t , кН;

V_{Rd} - розрахункова несуча здатність загального перерізу на дію поперечної сили для проектування за нормальної температури, кН;

W - ширина стіни з одним або декількома вікнами (W_1 та W_2), м;

W_1 - ширина стіни 1 протипожежного відсіку, яка має найбільшу площу вікон, м;

W_2 - ширина стіни протипожежного відсіку, перпендикулярної до стіни 1, м;

W_a - горизонтальна проекція навісу або балкону, м;

W_c - ширина зони горіння, м;

X_k - характеристичне значення міцності або деформативності (здебільшого f_k або E_k) для розрахунку за нормальної температури;

Малі латинські літери

a_z - коефіцієнт теплового поглинання полум'я;

b - теплопоглинальна здатність огорожувальних конструкцій
 $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$, Дж/(м²·с^{1/2}·К);

b_i - теплопоглинальна здатність i -го шару огорожувальної конструкції, Дж/(м²·с^{1/2}·К);

b_j - теплопоглинальна здатність j -ї огорожувальної конструкції, Дж/(м²·с^{1/2}·К);

c - питома (масова) теплоємність, Дж/(кг·К);

c_a - питома теплоємність сталі, Дж/(кг·К);

c_p - питома теплоємність вогнезахисного матеріалу, Дж/(кг·К);

d_{eq} - геометричний параметр зовнішньої конструкції (діаметр або довжина сторони), м;

d_f - товщина полум'я, м;

d_i - розмір поперечного перерізу i -ї поверхні конструкції, м;

d_p - товщина вогнезахисного матеріалу, м;

d_{pmin} - мінімальна товщина вогнезахисного матеріалу, за якої забезпечується вогнестійкість конструкції, м;

$f_{p,\theta}$ - границя пропорційності для сталі за підвищеної температури θ_a , МПа;

f_y - границя текучості за температури 20 °С, МПа;

$f_{y,\theta}$ - розрахункова границя текучості для сталі за підвищеної температури θ_a , МПа;

$f_{y,i}$ - номінальна границя текучості f_y для елементарної площі A_i , що приймається зі знаком плюс для стиснутої частини перерізу відносно нейтральної осі при пластичних деформаціях та зі знаком мінус – для розтягнутої частини перерізу, МПа;

$f_{u,\theta}$ - гранична міцність за підвищеної температури, що враховується при деформаційному зміцненні, МПа;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

h_{eq} - приведенне за площею значення висоти вікон у всіх стінах,
 $(h_{eq} = (\sum_i (A_{v,i} h_i)) / A_v)$, м;

h_i - висота i -го вікна, м;

h_z - величина перевищення вершиною полум'я рівня нижнього краю балки, м;

$\dot{h}$ - тепловий потік на одиницю площі поверхні (щільність теплового потоку), Вт/м²;

$\dot{h}_{\text{net}}$ - результувний тепловий потік на одиницю площі поверхні, Вт/м²;

$\dot{h}_{\text{net,c}}$ - результувний тепловий потік конвекцією на одиницю площі поверхні, Вт/м²;

$\dot{h}_{\text{net,r}}$ - результувний тепловий потік випромінюванням на одиницю площі поверхні, Вт/м²;

$\dot{h}_{\text{tot}}$ - загальний тепловий потік на одиницю площі поверхні, Вт/м²;

$\dot{h}_i$ - тепловий потік на одиницю площі поверхні внаслідок i -ї пожежі, Вт/м²;

i - показник порядкового номеру поверхні конструкції;

k - коригувальний коефіцієнт;

k_b - перевідний коефіцієнт;

k_c - коригувальний коефіцієнт;

$k_{b,\theta}$ - коефіцієнт зниження, що визначений для відповідної температури болта;

$k_{E,\theta}$ - коефіцієнт зниження для тангенсу кута нахилу лінійної пружної ділянки для температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t ;

$k_{E,\theta,com}$ - коефіцієнт зниження для тангенсу кута нахилу лінійної пружної ділянки для максимальної температури у стиснутій зоні $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t ;

k_{sh} - поправний коефіцієнт для ефекту затінення;

k_θ - відносне значення міцності або деформативності сталі за підвищеної температури θ_a ;

k_θ - коефіцієнт зниження міцності або деформативності ($X_{k,\theta} / X_k$), що залежить від температури матеріалу;

$k_{w,\theta}$ - коефіцієнт зниження міцності зварних швів;

$k_{y,\theta}$ - коефіцієнт зниження для границі текучості сталі за температури θ_a , що досягається в момент часу t ;

$k_{y,\theta,com}$ - коефіцієнт зниження для границі текучості сталі за максимальної температури у стиснутій зоні θ_a , що досягається в момент часу t ;

$k_{y,\theta,i}$ - коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_i ;

$k_{y,\theta,max}$ - коефіцієнт зниження границі текучості сталі за максимальної температури у стиснутій зоні $\theta_{a,max}$, що досягається в момент часу t ;

$k_{y,\theta,web}$ - коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_{web} ;

k_y - коефіцієнт взаємодії;

k_z - коефіцієнт взаємодії;

k_{LT} - коефіцієнт взаємодії;

l - довжина за температури 20 °C; відстань від прорізу, виміряна вздовж осі полум'я, м;

l_{fi} - довжина зони поздовжнього згину колони для розрахунку на вогнестійкість, м;

m - маса, кг; коефіцієнт повноти згоряння; кількість прорізів на стороні m ;

$\dot{m}$ - швидкість змінення маси; витрата потоку, кг/с;

$\dot{m}_{in}$ - швидкість змінення маси (витрата) потоку газу, що входить крізь прорізи, кг/с;

$\dot{m}_{out}$ - швидкість змінення маси (витрата) потоку газу, що виходить крізь прорізи, кг/с;

$\dot{m}_{fi}$ - масова швидкість вигорання пожежного навантаження, кг/с;

n - кількість прорізів на стороні n ;

q_f - питоме пожежне навантаження, що відноситься до одиниці площі підлоги A_f , МДж/м²;

$q_{f,d}$ - розрахункове питоме пожежне навантаження, що відноситься до площі підлоги A_f , МДж/м²;

$q_{f,k}$ - характеристичне питоме пожежне навантаження, що відноситься до площі підлоги A_f , МДж/м²;

q_t - питоме пожежне навантаження, що відноситься до площі поверхні A_t , МДж/м²;

$q_{t,d}$ - розрахункове питоме пожежне навантаження, що відноситься до площі поверхні A_t , МДж/м²;

$q_{t,k}$ - характеристичне питоме пожежне навантаження, що відноситься до площі A_t , МДж/м²;

r - горизонтальна відстань від вертикальної осі пожежі до точки на стелі, для якої обчислюється тепловий потік, м;

s - відстань від осі колони до осі стіни протипожежного відсіку, м;

s_i - товщина i -го шару, м;

s_{lim} - гранична товщина, м;

t - час, с; тривалість вогневого впливу, хв;

$t_{e,d}$ - еквівалентна тривалість вогневого впливу, хв;

$t_{fi,d}$ - час, який відповідає розрахунковій межі вогнестійкості, хв;

$t_{fi,requ}$ - час, який відповідає нормованій межі вогнестійкості, хв;

t_{lim} - час настання максимальної температури газового середовища для пожеж, які регулюються пожежним навантаженням, хв;

t_{max} - час настання максимальної температури, год;

t_α - час, необхідний для досягнення швидкості тепловиділення 1 МВт, с;

u - швидкість вітру, м/с; вміст вологи, %;

w_i - ширина i -го прорізу (вікна), м;

w_t - сумарна ширина вікон в усіх стінах ($w_t = \sum w_i$), м; коефіцієнт вентиляції, що відповідає A_t ;

w_f - ширина полум'я, м; коефіцієнт вентиляції;

x - координата, м; коефіцієнт при визначенні температурних режимів у фазі загасання;

y - коефіцієнт параметру;

z - висота, м;

z_0 - умовний початок відліку висоти z ;

z_i - відстань від нейтральної осі до центру елементарної площі A_i при пластичних деформаціях, м;

z' - вертикальне положення умовного вогнища пожежі, м.

Великі грецькі літери

Δt - проміжок часу, с;

Δl - теплове видовження, м;

$\Delta \theta_{g,t}$ - приріст (підвищення) температури газового середовища за проміжок часу Δt , °C;

Φ - кутовий коефіцієнт;

Φ_f - результівний кутовий коефіцієнт окремої конструкції для радіаційного теплообміну від прорізів;

$\Phi_{f,i}$ - кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для заданого прорізу;

Φ_z - результівний кутовий коефіцієнт конструкції для радіаційного теплообміну від полум'я;

$\Phi_{z,i}$ - кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для заданого полум'я;

$\Phi_{z,m}$ - результівний кутовий коефіцієнт колони для радіаційного теплообміну від полум'я до сторони m ;

$\Phi_{z,n}$ - результівний кутовий коефіцієнт колони для радіаційного теплообміну від полум'я до сторони n ;

Γ - коефіцієнт часу, що залежить від коефіцієнту врахування прорізів O та теплопоглинальної здатності b ;

Γ_{lim} - коефіцієнт часу, що залежить від коефіцієнту врахування прорізів O_{lim} та теплопоглинальної здатності b ;

Θ - температура, °C; $\Theta, (^\circ\text{C}) = T, (\text{K}) - 273$;

Θ_a - температура сталі, °C;

$\Theta_{cr,d}$ - розрахункове значення критичної температури матеріалу, °C;

Θ_d - розрахункове значення температури матеріалу, °C;

Θ_g - температура газового середовища у протипожежному відсіку або біля конструкції, °C;

Θ_m - температура поверхні конструкції, °C;

$\theta_{\max}$ - максимальна температура, °C;

θ_0 - початкова температура, °C;

θ_p - температура вогнезахисного матеріалу, °C;

θ_r - ефективна температура випромінювання вогнища пожежі, °C;

Ω - розрахунковий параметр, $\Omega = (A_f \cdot q_{f,d}) / (A_v \cdot A_t)^{1/2}$;

Ψ_1 - коефіцієнт захищеності пожежного навантаження.

Малі грецькі літери

α_c - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²·K);

α_h - відношення площі горизонтальних прорізів до площі підлоги;

α_v - відношення площі вертикальних прорізів до площі підлоги;

α^* - сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та тепловою радіацією, Вт/(м²·K);

β_M - коефіцієнт еквівалентного рівномірного моменту;

γ_{M2} - коефіцієнт надійності для нормальної температури;

$\gamma_{M,fi}$ - коефіцієнт надійності для відповідної властивості матеріалу під час пожежі;

δ_{ni} - коефіцієнт, що враховує наявність i -го спеціального проти-пожежного заходу;

δ_{q1} - коефіцієнт, що враховує ризик виникнення пожежі залежно від розмірів протипожежного відсіку;

δ_{q2} - коефіцієнт, що враховує ризик виникнення пожежі залежно від призначення приміщення;

ε_m - коефіцієнт теплового випромінювання поверхні конструкції;

ε_f - коефіцієнт теплового випромінювання полум'я; коефіцієнт теплового випромінювання прорізу;

ε_z - коефіцієнт теплового випромінювання полум'я;

$\varepsilon_{z,m}$ - загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я на стороні m ;

$\varepsilon_{z,n}$ - загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я на стороні n ;

ξ - коефіцієнт зниження для несприятливого постійного навантаження G ;

η_{fi} - коефіцієнт зниження розрахункового рівня навантаження у разі пожежі;

λ - коефіцієнт теплопровідності; теплопровідність матеріалу, Вт/(м·К);

λ_i - товщина полум'я для i -го прорізу, м;

λ_p - теплопровідність вогнезахисного матеріалу, Вт/(м·К);

λ_f - розрахункова теплопровідність вогнезахисного матеріалу, Вт/(м·К);

μ_0 - ступінь використання в момент часу $t = 0$;

ρ - густина, кг/м³;

ρ_g - густина внутрішнього газового середовища, кг/м³;

ρ_a - густина сталі, кг/м³;

ρ_p - густина вогнезахисного матеріалу, кг/м³;

σ - стала Стефана Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴);

τ_F - тривалість вільного розвитку пожежі (прийнято 1200 с);

χ_{fi} - коефіцієнт зниження для втрати стійкості згинання за згинальною формою для розрахунку на вогнестійкість;

$\chi_{LT,fi}$ - коефіцієнт зниження для втрати стійкості за крутильною формою для розрахунку на вогнестійкість;

$\chi_{min,fi}$ - мінімальне значення $\chi_{y,fi}$ та $\chi_{z,fi}$;

$\chi_{z,fi}$ - коефіцієнт зниження для втрати стійкості за згинальною формою відносно осі z під час пожежі;

$\chi_{y,fi}$ - коефіцієнт зниження для втрати стійкості за згинальною формою відносно осі y під час пожежі.

5 ДІЇ НА КОНСТРУКЦІЇ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ

5.1 Загальні положення розрахунку конструкцій на вогнестійкість

5.1.1 Розрахунок будівельних конструкцій на вогнестійкість (окремої конструкції, частини конструктивної системи або конструктивної системи в цілому) враховує такі етапи [2]:

- вибір проектних сценаріїв пожежі;
- визначення відповідних температурних режимів пожежі;
- розрахунок підвищення температури в будівельних конструкціях;
- розрахунок механічної роботи будівельних конструкцій в умовах пожежі.

5.1.2 Розрахунок будівельних конструкцій на вогнестійкість включає прикладання впливів для теплового аналізу та впливів для механічного аналізу.

5.1.3 Навантаження і впливи на будівлі та споруди внаслідок пожежі класифікують як випадкові (аварійні).

5.2 Проектні сценарії пожежі

5.2.1 Для встановлення аварійної проектної ситуації на основі оцінки пожежного ризику визначають відповідні проектні сценарії пожежі та температурні режими, що пов'язані з ними.

5.2.2 Для конструкцій з особливим ризиком виникнення пожежі внаслідок інших аварійних впливів, цей ризик розглядають при визначенні загальної концепції безпеки.

5.3 Температурний режим

5.3.1 Для кожного проектного сценарію пожежі температурний режим пожежі у протипожежному відсіку оцінюють відповідно до 5.6.

5.3.2 Температурний режим пожежі стосується тільки одного протипожежного відсіку будинку, якщо інше не вказано у проектному сценарії пожежі.

5.3.3 Конструкції, для яких встановлені вимоги щодо їх нормованої вогнестійкості, можна розглядати за стандартним температурним режимом, якщо в нормативних документах не вказано інше.

5.4 Теплотехнічний розрахунок

5.4.1 Для теплотехнічного розрахунку окремої конструкції враховують розташування проектної пожежі відносно цієї конструкції.

5.4.2 Для зовнішніх конструкцій враховують вогневий вплив крізь прорізи у фасаді та даху.

5.4.3 Для зовнішніх огорожувальних стін враховують вогневий вплив зсередини (з відповідного протипожежного відсіку) і, як альтернативу, ззовні (з іншого протипожежного відсіку), якщо це необхідно.

5.4.4 Залежно від вибору температурного режиму використовують такі підходи:

– для номінального температурного режиму теплотехнічний розрахунок конструкцій виконують для визначеного проміжку часу, не враховуючи фазу загасання. Цей проміжок часу або відповідає нормованій межі вогнестійкості конструкції, наведеній в нормативних документах, або може бути розраховано згідно з додатком А;

– для моделі реальної пожежі теплотехнічний розрахунок конструкцій виконується для повної тривалості пожежі, враховуючи фазу загасання.

5.5 Статичний розрахунок

5.5.1 Статичний розрахунок виконують для такої ж тривалості, що використана для теплотехнічного розрахунку.

5.5.2 Вогнестійкість підтверджується виконанням таких умов:

- у часових параметрах

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ}, \quad (1)$$

- у міцнісних параметрах:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}, \quad (2)$$

- у температурних параметрах:

$$\Theta_d \leq \Theta_{cr,d}, \quad (3)$$

де $t_{fi,d}$ – розрахункове значення межі вогнестійкості, хв;

$t_{fi,requ}$ – нормована межа вогнестійкості, хв;

$R_{fi,d,t}$ – розрахункове значення несучої здатності окремої конструкції під час пожежі в момент часу t , кН;

$E_{fi,d,t}$ – розрахункове значення навантажувального ефекту під час пожежі в момент часу t , кН;

Θ_d – розрахункове значення температури матеріалу, °С;

$\Theta_{cr,d}$ – розрахункове значення критичної температури матеріалу, °С.

5.6 Теплові впливи для теплотехнічного розрахунку

5.6.1 Загальні положення

5.6.1.1 Теплові впливи задають величиною результтивного теплового потоку $\dot{h}_{net}$ (Вт/м²) на поверхні конструкції.

5.6.1.2 На обігрівних поверхнях цей тепловий потік $\dot{h}_{net}$ визначають, враховуючи конвективну $\dot{h}_{net,c}$ (Вт/м²) та радіаційну $\dot{h}_{net,r}$ (Вт/м²) його складові, за формулою:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}. \quad (4)$$

5.6.1.3 Конвективну складову теплового потоку визначають за формулою:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m), \quad (5)$$

де α_c – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²·К);

Θ_g – температура газового середовища біля конструкції, що зазнає вогневого впливу, °С;

Θ_m – температура поверхні конструкції, °С.

5.6.1.4 Значення коефіцієнту тепловіддачі α_c для номінальних температурних режимів наведено в 5.6.2.

5.6.1.5 На необігрівній поверхні огорожувальних конструкцій результтивний тепловий потік $\dot{h}_{net}$ визначають згідно з формулою (4), прийнявши в формулі (5) $\alpha_c = 4$ Вт/(м²·К). Значення коефіцієнту тепловіддачі α_c приймають 9 Вт/(м²·К), у разі, коли воно містить (враховує) ефекти

радіаційного теплообміну. При цьому при визначенні за формулою (4) результтивного теплового потоку $\dot{h}_{\text{net}}$ на необігрівній поверхні огорожувальних конструкцій, приймають $\dot{h}_{\text{net,r}} = 0$.

5.6.1.6 Радіаційну складову результтивного теплового потоку визначають за формулою:

$$\dot{h}_{\text{net,r}} = \Phi \cdot \varepsilon_{\text{m}} \cdot \varepsilon_{\text{f}} \cdot \sigma [(\Theta_{\text{r}} + 273)^4 - (\Theta_{\text{m}} + 273)^4], \quad (6)$$

де Φ – кутовий коефіцієнт;

ε_{m} – коефіцієнт теплового випромінювання поверхні конструкції;

ε_{f} – коефіцієнт теплового випромінювання полум'я;

σ – стала Стефана Больцмана ($5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴));

Θ_{r} – ефективна температура випромінювання вогневого середовища, °С;

Θ_{m} – температура поверхні конструкції, °С.

При розрахунках за формулою (6) використовують такі значення коефіцієнту теплового випромінювання:

– $\varepsilon_{\text{m}} = 0,3$ – для незахищених поверхонь алюмінієвих конструкцій;

– $\varepsilon_{\text{m}} = 0,4$ – для незахищених поверхонь металевих конструкцій з нержавіючої сталі;

– $\varepsilon_{\text{m}} = 0,7$ – для незахищених бетонних поверхонь, незахищених поверхонь металевих конструкцій з вуглецевої сталі та пофарбованих поверхонь алюмінієвих конструкцій;

– $\varepsilon_{\text{m}} = 0,8$, – для незахищених поверхонь дерев'яних конструкцій, гіпсокартонних плит та інших матеріалів, якщо відсутнє обґрунтування щодо іншого значення коефіцієнту теплового випромінювання.

Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я приймається $\varepsilon_{\text{f}} = 1,0$, якщо відсутнє обґрунтування щодо іншого значення цього коефіцієнту.

5.6.1.7 Кутовий коефіцієнт, як правило, приймається $\Phi = 1,0$. Менше значення може бути взято, щоб врахувати розташування конструкції та ефект затінення. Метод розрахунку коефіцієнту Φ наведено в додатку Б.

5.6.1.8 У разі, коли конструкції зазнають вогневого впливу з усіх сторін, температура випромінювання Θ_r може бути представлена температурою газового середовища Θ_g навколо конструкції.

5.6.1.9 Температуру поверхні Θ_m визначають за теплотехнічним розрахунком конструкції.

5.6.1.10 Температура газового середовища Θ_g може прийматися або з номінальних температурних режимів, або за результатами розрахунків, проведених із застосуванням моделей реальної пожежі.

5.6.2 Номінальні температурні режими

До номінальних температурних режимів пожежі відносять стандартний температурний режим, температурний режим зовнішньої пожежі та температурний режим вуглеводневої пожежі.

5.6.2.1 Стандартний температурний режим

5.6.2.1.1 Стандартний температурний режим визначають за формулою:

$$\Theta_g = 20 + 345 \lg(8t + 1), \quad (7)$$

де Θ_g – температура газового середовища у протипожежному відсіку, °C;
 t – час, хв.

5.6.2.1.2 Для цього температурного режиму коефіцієнт тепловіддачі конвекцією становить $\alpha_c = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

5.6.2.2 Температурний режим зовнішньої пожежі

5.6.2.2.1 Температурний режим зовнішньої пожежі визначають за формулою:

$$\Theta_g = 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20, \quad (8)$$

де Θ_g – температура газового середовища біля конструкції, °C;
 t – час, хв.

5.6.2.2.2 Для цього температурного режиму коефіцієнт тепловіддачі конвекцією становить $\alpha_c = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

5.6.2.3 Температурний режим вуглеводневої пожежі

Температурний режим вуглеводневої пожежі визначають за формулою:

$$\Theta_g = 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20, \quad (9)$$

де θ_g – температура газового середовища біля конструкції, °C;

t – час, хв.

Для цього температурного режиму коефіцієнт тепловіддачі конвекцією становить $\alpha_c = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

5.6.3 Моделі реальної пожежі

5.6.3.1 Спрощені моделі пожежі

5.6.3.1.1 Загальні положення

5.6.3.1.1.1 Спрощені моделі пожежі базуються на визначених фізичних параметрах з обмеженою сферою застосування.

Метод визначення розрахункового питомого пожежного навантаження $q_{f,d}$ наведено в додатку В.

5.6.3.1.1.2 В цих моделях для пожежі у відсіку прийнято рівномірний розподіл температури залежно від часу. Нерівномірний розподіл температури залежно від часу прийнято для локальних пожеж.

5.6.3.1.1.3 У разі використання спрощених моделей пожежі коефіцієнт тепловіддачі конвекцією приймають $\alpha_c = 35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

5.6.3.1.2 Пожежі у відсіку

5.6.3.1.2.1 Температура газового середовища у протипожежному відсіку визначається на основі фізичних параметрів, що враховують принаймні питоме пожежне навантаження та умови вентиляції. Метод розрахунку температури газового середовища у протипожежному відсіку для внутрішніх конструкцій відсіку наведено в додатку Г.

5.6.3.1.2.2 Для зовнішніх конструкцій радіаційну складову теплового потоку $\dot{h}_{\text{net},g}$ визначають як сумарний тепловий вплив протипожежного відсіку та полум'я, що виходить з прорізів. Метод розрахунку теплових впливів для зовнішніх конструкцій, що зазнають вогневого впливу крізь прорізи в фасаді, наведено в додатку Д.

5.6.3.1.3 Локальні пожежі

5.6.3.1.3.1 Теплові впливи локальної пожежі враховують у разі, якщо загальний спалах малоймовірний. Метод розрахунку теплових впливів локальних пожеж наведено в додатку Е.

5.6.3.2 Уточнені моделі пожежі

5.6.3.2.1 Уточнені моделі пожежі враховують:

- властивості газу;
- масообмін;
- енергообмін.

Методи визначення розрахункового питомого пожежного навантаження $q_{f,d}$ та швидкості тепловиділення Q наведено в додатку В.

5.6.3.2.2 Для розрахунків використовують одну з таких моделей:

- однозонні моделі, що передбачають рівномірний розподіл температури у відсіку залежно від часу;
- двозонні моделі, що встановлюють верхню зону з відповідними товщиною та рівномірною температурою, які залежать від часу, та нижню зону з рівномірною температурою, що залежить від часу;
- польові моделі, що встановлюють розподіли температури у просторі відсіку та часі. Ці моделі називають також моделями термо- та газодинаміки, CFD моделями та моделями термо- та аеродинаміки потоку. Польові моделі є більш потужним і універсальним інструментом, ніж зональні, і вони ґрунтуються 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 із 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 [3].

Методи розрахунку теплових впливів для однозонних, двозонних та польових моделей наведено в додатку Ж.

5.6.3.2.3 Для уточнених моделей пожежі коефіцієнт тепловіддачі конвекцією приймають $\alpha_c = 35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, якщо відсутнє обґрунтування іншої величини.

5.6.3.2.4 У разі локальної пожежі для точнішого визначення розподілу температури вздовж конструкції може бути розглянуте сполучення результатів, що визначені за двозонною моделлю та підходом локальної пожежі. При цьому температурне поле в конструкції може бути отримано шляхом розгляду максимального ефекту в кожній точці, отриманого двома моделями пожежі.

5.7 Механічні впливи для статичного розрахунку

5.7.1 Загальні положення

5.7.1.1 Прикладені та вимушені видовження й деформації, що спричинені змінами температур внаслідок вогневого впливу, викликають навантажувальні ефекти, наприклад, виникнення внутрішніх зусиль – сил та моментів, окрім випадків, коли вони:

- незначні або сприятливі;
- враховані традиційно вибраними умовами спирання та граничними умовами і/або беззастережно враховані традиційно визначеними вимогами пожежної безпеки.

5.7.1.2 Для оцінки непрямих впливів розглядають:

- вимушене теплове розширення конструкцій, наприклад, колон у багатоповерхових каркасних будинках з діафрагмами жорсткості;
- різне теплове розширення статично невизначуваних конструкцій, наприклад, нерозрізних плит перекриття;
- температурні градієнти в межах поперечних перерізів, що спричиняють внутрішні напруження;
- теплове розширення прилеглих конструкцій, наприклад, зміщення оголовку колони через розширення плити перекриття або видовження підвісних конструкцій;

– теплове розширення конструкцій, що впливає на конструкції за межами протипожежного відсіку.

5.7.1.3 Розрахункові значення непрямих впливів внаслідок пожежі $A_{ind,d}$ визначають на основі розрахункових значень теплофізичних та термомеханічних властивостей матеріалу та відповідного вогневого впливу.

5.7.1.4 Непрямі впливи від прилеглих конструкцій не розглядаються, якщо вимоги пожежної безпеки стосуються конструкцій, що розглядаються за стандартним температурним режимом пожежі.

5.7.2 Одночасність впливів

5.7.2.1 Впливи, що прийняті з розрахунку за нормальних температур

5.7.2.1.1 Впливи розглядаються як для розрахунку за нормальних температур, якщо ймовірна їх дія під час пожежі.

5.7.2.1.2 Характерні значення змінних впливів, що враховані для аварійної розрахункової ситуації під час пожежі, приймають відповідно до ДБН В.1.2-2.

5.7.2.1.3 Зменшення прикладеного навантаження внаслідок згоряння не враховується.

5.7.2.1.4 Випадки, коли снігове навантаження не враховується через танення снігу, розглядають окремо.

5.7.2.1.5 Впливи, що виникають внаслідок виробничих процесів, не враховуються.

5.7.2.2 Додаткові впливи

5.7.2.2.1 Одночасна дія разом з іншими незалежними випадковими впливами не враховується.

5.7.2.2.2 Залежно від аварійних розрахункових ситуацій, що розглядаються, під час пожежі можуть виникати додаткові впливи, що спричинені вогневим впливом, наприклад, удар внаслідок руйнування конструкції або важкого механічного обладнання.

5.7.2.2.3 Для протипожежних стін може висуватися вимога щодо їх здатності чинити опір горизонтальному ударному навантаженню.

5.7.3 Правила сполучення впливів

5.7.3.1 Загальне правило

5.7.3.1.1 Для визначення відповідних навантажувальних ефектів $E_{f,d,t}$ під час пожежі приймають сполучення механічних впливів відповідно до ДБН В.1.2-2.

5.7.3.2 Спрощені правила

5.7.3.2.1 Якщо непрямі впливи пожежі не розглядають, то навантажувальні ефекти можуть визначатися з розрахунку конструктивної системи для сполучення впливів відповідно до 5.7.3.1 лише для часу $t = 0$. Ці навантажувальні ефекти $E_{f,d}$ можуть бути прикладені як сталі величини під час пожежі.

6 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

6.1 Вимоги з вогнестійкості

6.1.1 Основні вимоги

6.1.1.1 Якщо необхідно забезпечити механічний опір під час пожежі, сталеві конструкції будуть запроектовані та виготовлені таким чином, щоб зберігати несучу здатність протягом відповідного вогневого впливу.

6.1.1.2 Критерій деформації застосовують, якщо засоби захисту або критерії розрахунку огорожувальних конструкцій вимагають врахування деформації несучої конструкції.

6.1.1.3 Окрім цього врахування деформації несучої конструкції не є обов'язковим у таких ситуаціях, коли:

- ефективність засобів захисту була оцінена відповідно до 6.5.3.2;
- огорожувальні конструкції відповідають вимогам згідно з номінальним вогневим впливом.

6.1.2 Номінальний вогневий вплив

6.1.2.1 За стандартним температурним режимом конструкції відповідають критерію R таким чином:

– лише несучі конструкції: несуча здатність (критерій R).

6.1.2.2 Критерій R забезпечено, якщо несуча здатність збережена протягом вогневого впливу встановленої тривалості, яка відповідає нормованій межі вогнестійкості $t_{fi,requ}$.

6.1.2.3 Для температурного режиму вуглеводневої пожежі застосовують ті ж самі положення, а посилання на цей режим позначають літерами “НС”.

6.1.3 Параметричний вогневий вплив

6.1.3.1 Несуча здатність забезпечена, якщо руйнування не допустиме протягом повної тривалості пожежі, включаючи фазу загасання, або протягом встановленого проміжку часу.

6.2 Теплові та механічні впливи

6.2.1 Теплові та механічні впливи приймають згідно з 5.6 та 5.7.

6.3 Розрахункові значення властивостей матеріалів

6.3.1 Розрахункові значення механічних (міцність та деформативність) властивостей матеріалу $X_{d,fi}$ визначають за формулою:

$$X_{d,fi} = k_{\theta} X_k / \gamma_{M,fi}, \quad (10)$$

де X_k – характеристичне значення міцності чи деформативності (здебільшого f_k або E_k) для розрахунку за нормальної температури згідно з ДБН В.2.6-198;

k_{θ} – коефіцієнт зменшення міцності або деформативності ($X_{k,\theta} / X_k$), що залежить від температури матеріалу (див. 6.5);

$\gamma_{M,fi}$ – коефіцієнт надійності для відповідної властивості матеріалу під час пожежі.

Примітка. Коефіцієнт надійності для механічних властивостей сталі у разі пожежі рекомендовано використовувати $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

6.3.2 Розрахункові значення теплофізичних властивостей матеріалу $X_{d,fi}$ визначають таким чином:

– якщо збільшення характеристики сприятливе для безпеки:

$$X_{d,fi} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi}; \quad (11)$$

– якщо збільшення характеристики несприятливе для безпеки:

$$X_{fi,d} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta}, \quad (12)$$

де $X_{k,\theta}$ – значення властивості матеріалу для розрахунку на вогнестійкість, що залежить від температури матеріалу;

$\gamma_{M,fi}$ – коефіцієнт надійності для відповідної властивості матеріалу під час пожежі.

При розрахунках значення коефіцієнту надійності для теплофізичних властивостей сталі у разі пожежі $\gamma_{M,fi} = 1,0$, якщо відсутнє обґрунтування іншої величини.

6.4 Методи перевірки

6.4.1 Загальні положення

6.4.1.1 Модель конструктивної системи, що прийнята для проектування згідно з цим стандартом, повинна відображати очікувану роботу конструкції під час пожежі.

6.4.1.2 Протягом відповідної тривалості вогневого впливу t необхідно виконання такої умови:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}, \quad (13)$$

де $E_{fi,d}$ – розрахунковий навантажувальний ефект під час пожежі, що визначений з урахуванням ефектів теплових розширень та деформацій;

$R_{fi,d,t}$ – відповідний розрахунковий опір під час пожежі.

6.4.1.3 Розрахунок конструкцій на вогнестійкість виконують з урахуванням того, що характеристики, які вимагаються від конструкції, що піддана впливу пожежі, перевірені шляхом загального розрахунку конструкції, розрахунку вузлів з'єднання або результатів випробувань. Основні положення розрахунку наведено в 6.4.2 (для окремої конструкції), 6.4.3 (для частини конструктивної системи) та 6.4.4 (для конструктивної системи в цілому). Для перевірки вимог нормованої вогнестійкості достатньо здійснити аналіз окремої конструкції.

6.4.1.4 Як альтернатива розрахунку конструкції, визначення вогнестійкості може базуватись на результатах вогневих випробувань або на сполученні результатів вогневих випробувань з розрахунками.

6.4.2 Розрахунок окремої конструкції

6.4.2.1 Навантажувальний ефект визначають для часу $t = 0$ відповідно до ДБН В.1.2-2.

6.4.2.2 Як спрощення до 6.4.2.1 навантажувальний ефект $E_{d,fi}$ можна визначити з розрахунку конструкції за нормальної температури, а саме:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d, \quad (14)$$

де E_d – розрахункове значення відповідної сили або моменту, що визначене з розрахунку за нормальної температури для основного сполучення навантажень згідно з ДБН В.1.2-2;

η_{fi} – коефіцієнт зниження розрахункового рівня навантаження у разі пожежі, який визначають як співвідношення аварійного сполучення навантажень і основного сполучення навантажень згідно з ДБН В.1.2-2.

6.4.2.3 Розглядають лише ефекти теплових деформацій, що є наслідком теплових градієнтів по ширині поперечного перерізу. Вплив теплового розширення вздовж та у площині конструкції можна не враховувати.

6.4.2.4 Граничні умови на опорах та кінцях конструкції можна вважати незмінними під час пожежі.

6.4.2.5 Спрощені або уточнені розрахункові моделі, що наведені в 6.6.2 та 6.6.3 відповідно, є прийнятними для перевірки конструкцій в умовах пожежі.

6.4.3 Розрахунок частини конструктивної системи

6.4.3.1 Навантажувальний ефект визначають для часу $t = 0$ відповідно до ДБН В.1.2-2.

6.4.3.2 Як альтернатива загальному розрахунку конструкцій під час пожежі в момент часу $t = 0$ опорні реакції, внутрішні зусилля та моменти на межі частини конструктивної системи можна отримати за розрахунком конструкцій за нормальних температур, як наведено в 6.4.2.

6.4.3.3 Частина конструктивної системи для розрахунку визначається на основі можливих теплових розширень або деформацій, щоб її взаємодія з

іншими частинами конструктивної системи могла бути виражена незалежними від часу умовами спирання та граничними умовами під час пожежі.

6.4.3.4 В межах частини конструктивної системи для розрахунку враховують характерний вид руйнування під час пожежі, властивості матеріалу, що залежать від температури, та жорсткість конструкції, впливи теплових розширень та деформацій (впливи другого порядку під час пожежі).

6.4.3.5 Граничні умови на опорах та зусилля на межі частини конструктивної системи вважають незмінними під час пожежі.

6.4.4 Загальний розрахунок конструктивної системи

6.4.4.1 Якщо виконується загальний розрахунок конструктивної системи під час пожежі, враховують характерний вид руйнування під час пожежі, властивості матеріалу, що залежать від температури, та жорсткість конструкції, впливи теплових розширень та деформацій (впливи другого порядку під час пожежі).

6.5 Властивості матеріалів

6.5.1 Загальні положення

6.5.1.1 Значення властивостей матеріалів, що наведені в цьому розділі, розглядають як характеристичні, окрім тих, що наведені як розрахункові.

6.5.1.2 Механічні властивості сталі за температури 20 °C приймають як такі, що наведені в ДБН В.2.6-198 для розрахунку за нормальної температури.

6.5.2 Механічні властивості сталей

6.5.2.1 Вуглецеві сталі

6.5.2.1.1 Міцність та деформаційні властивості

6.5.2.1.1.1 Для швидкостей нагрівання від 2 К/хв до 50 К/хв міцність та деформаційні властивості сталі за підвищених температур визначають з діаграми “напруження-деформації”, що наведена на рисунку 1.

Примітка. Для правил цього стандарту прийнято, що швидкості нагрівання знаходиться у визначених межах.

6.5.2.1.1.2 Співвідношення, що наведені на рисунку 1, використовують для визначення міцності на розтяг, стиск, дію моменту та поперечної сили.

6.5.2.1.1.3 В таблиці 1 наведені значення коефіцієнтів зниження для діаграми “напруження-деформації” сталі за підвищеної температури, що показана на рисунку 1. Ці коефіцієнти зниження визначають таким чином:

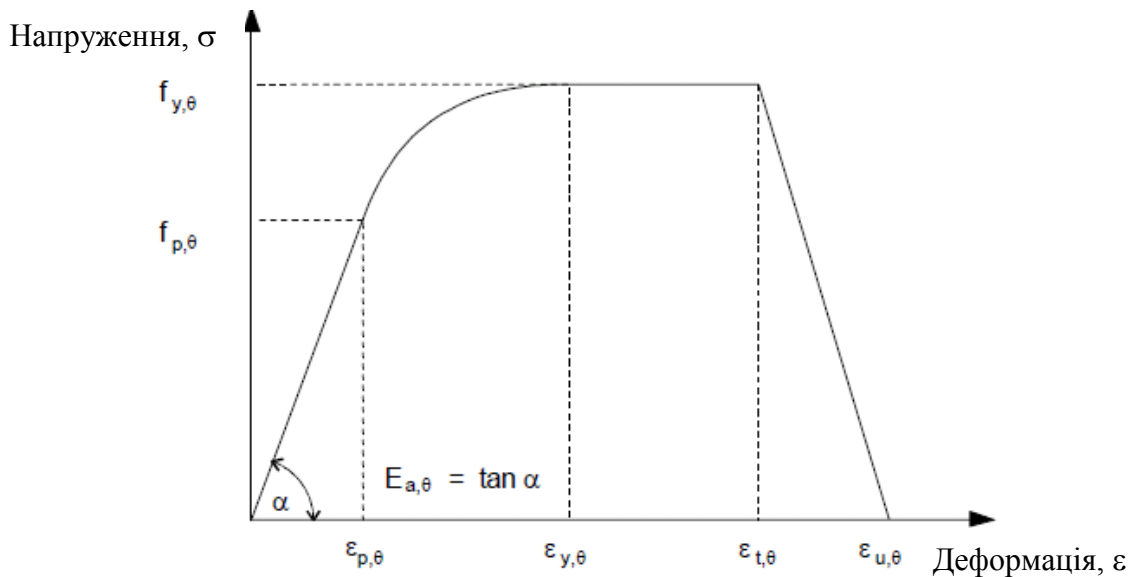
- розрахункова границя текучості відносно границі текучості за температури 20 °C: $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$

- границя пропорційності відносно границі текучості за температури 20 °C: $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$

- нахил лінійної пружної ділянки відносно нахилу за температури 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$

Примітка. Зміна цих коефіцієнтів зниження залежно від температури зображена на рисунку 2.

Стадії деформування	Напруження σ	Початковий модуль
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0.5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0.5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	-
Параметри	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$	$\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$
Функції	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	



Пояснення:

- $f_{y,\theta}$ розрахункова границя текучості ;
- $f_{p,\theta}$ границя пропорційності;
- $E_{a,\theta}$ нахил лінійної пружної ділянки
- $\epsilon_{p,\theta}$ деформація на границі пропорційності
- $\epsilon_{y,\theta}$ деформація на границі текучості
- $\epsilon_{t,\theta}$ гранична деформація на границі текучості
- $\epsilon_{u,\theta}$ критична деформація

Рисунок 1 – Діаграма «напруження-деформація» для вуглецевої сталі за підвищеної температури

Таблиця 1 – Коефіцієнти зниження для вуглецевої сталі за підвищеної температури

Температура сталі θ_a ,	Коефіцієнти зниження за температури θ_a відносно значення f_y або E_a для 20 °C		
	Коефіцієнт зниження (відносно f_y) для розрахункової границі текучості $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Коефіцієнт зниження (відносно f_y) для границі пропорційності $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	Коефіцієнт зниження (відносно E_a) для нахилу лінійної пружної ділянки $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

Примітка. Для проміжних значень температури сталі може бути застосована лінійна інтерполяція.

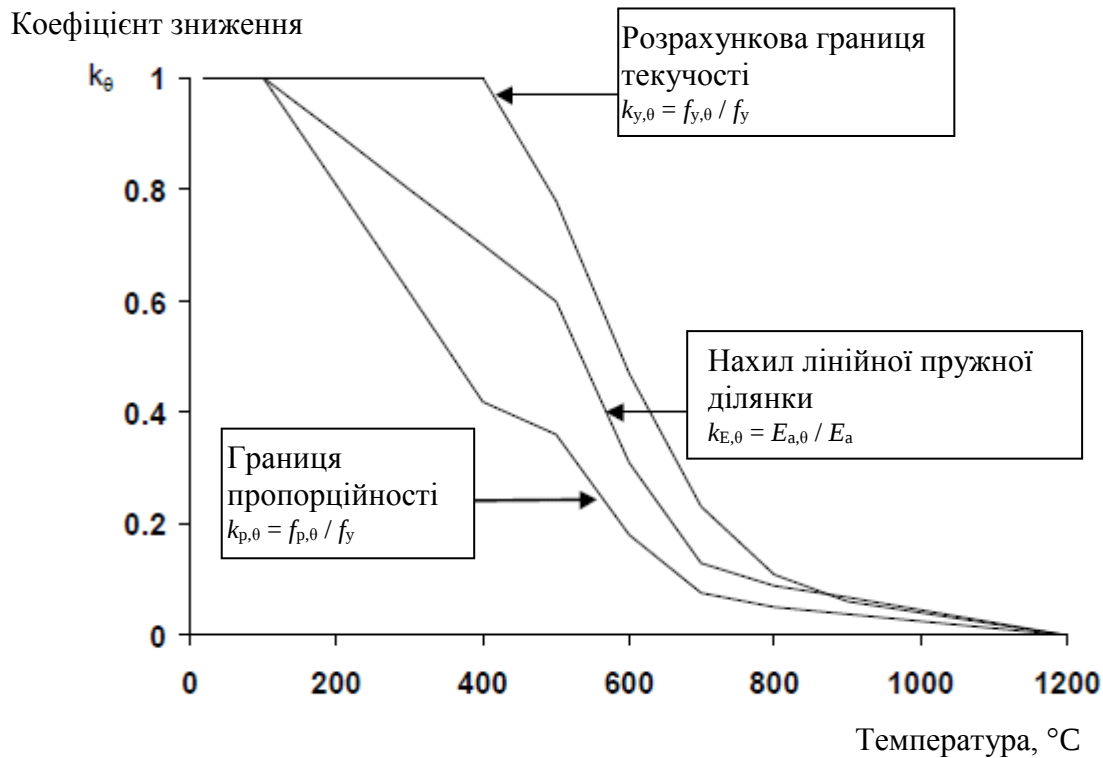


Рисунок 2 – Коефіцієнти зниження для вуглецевої сталі за підвищеної температури

6.5.2.1.1.4 Як альтернатива, для температур нижче 400 °C, діаграма “напруження-деформації”, що визначена в 6.5.2.1.1.1, може бути продовжена завдяки можливості деформаційного зміцнення згідно з додатком И, за умови, що місцева втрата стійкості конструкції не спричинить передчасного руйнування.

6.5.2.1.2 Густина

Густину сталі ρ_a вважають незалежною від температури сталі. Прийнято таке значення: $\rho_a = 7850 \text{ кг/м}^3$.

6.5.3 Теплофізичні властивості

6.5.3.1 Вуглецеві сталі

6.5.3.1.1 Теплове видовження

Відносне теплове видовження сталі $\Delta l / l$ визначають за формулами:

– для $20 \text{ °C} \leq \theta_a \leq 750 \text{ °C}$:

$$\Delta l / l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}, \quad (15)$$

– для $750 \text{ °C} \leq \theta_a \leq 860 \text{ °C}$:

$$\Delta l / l = 1,1 \times 10^{-2}, \quad (16)$$

– для $860\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta l / l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}, \quad (17)$$

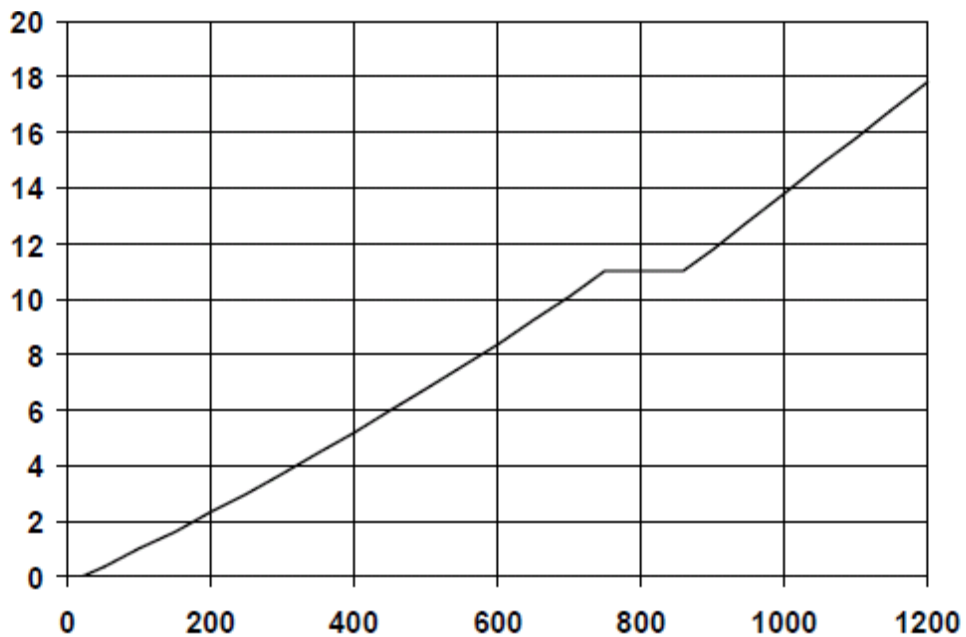
де l – довжина за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Δl – теплове видовження;

θ_a – температура сталі, $^{\circ}\text{C}$.

Залежність відносного теплового видовження від температури зображено на рисунку 3.

Відносне видовження, $\Delta l / l$ [$\times 10^{-3}$]



Температура, $^{\circ}\text{C}$

Рисунок 3 – Відносне теплове видовження вуглецевої сталі залежно від температури

6.5.3.1.2 Питома теплоємність

Питому теплоємність сталі c_a (Дж/(кг·К)) визначають за формулами:

– для $20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 600\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3, \quad (18)$$

– для $600\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 735\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a}, \quad (19)$$

– для $735\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731}, \quad (20)$$

– для $900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$:

$$c_a = 650, \quad (21)$$

де θ_a – температура сталі, $^\circ\text{C}$.

Зміну питомої теплоємності залежно від температури зображено на рисунку 4.

Питома теплоємність, [Дж/(кг·К)]

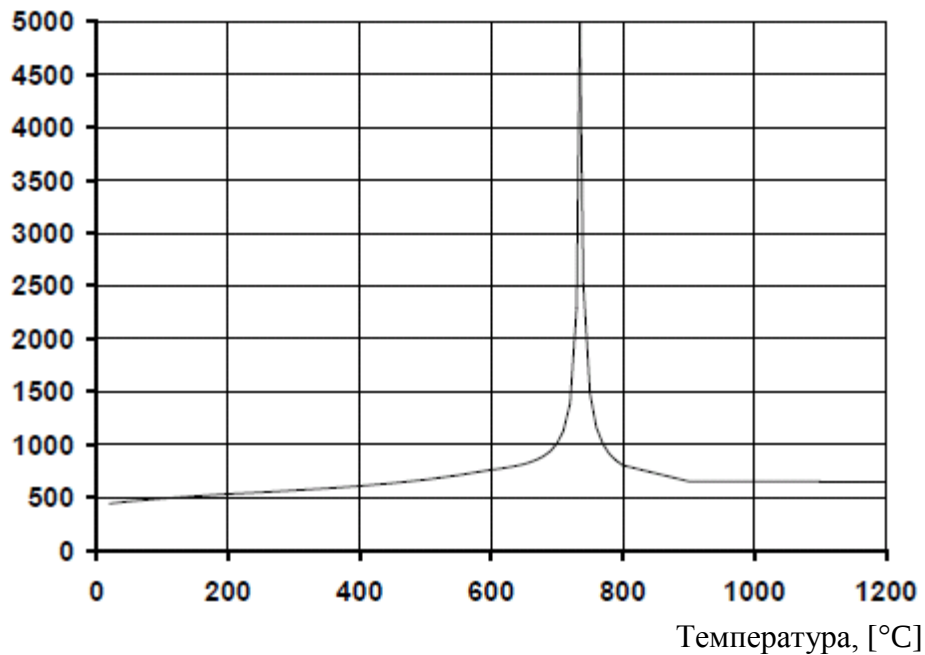


Рисунок 4 – Питома теплоємність вуглецевої сталі залежно від температури

6.5.3.1.3 Теплопровідність

Теплопровідність сталі λ_a (Вт/(м·К)) визначають за формулами:

– для $20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 800^\circ\text{C}$:

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a, \quad (22)$$

– для $800^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$:

$$\lambda_a = 27,3, \quad (23)$$

де θ_a – температура сталі, $^\circ\text{C}$.

Зміну теплопровідності залежно від температури зображено на рисунку 5.

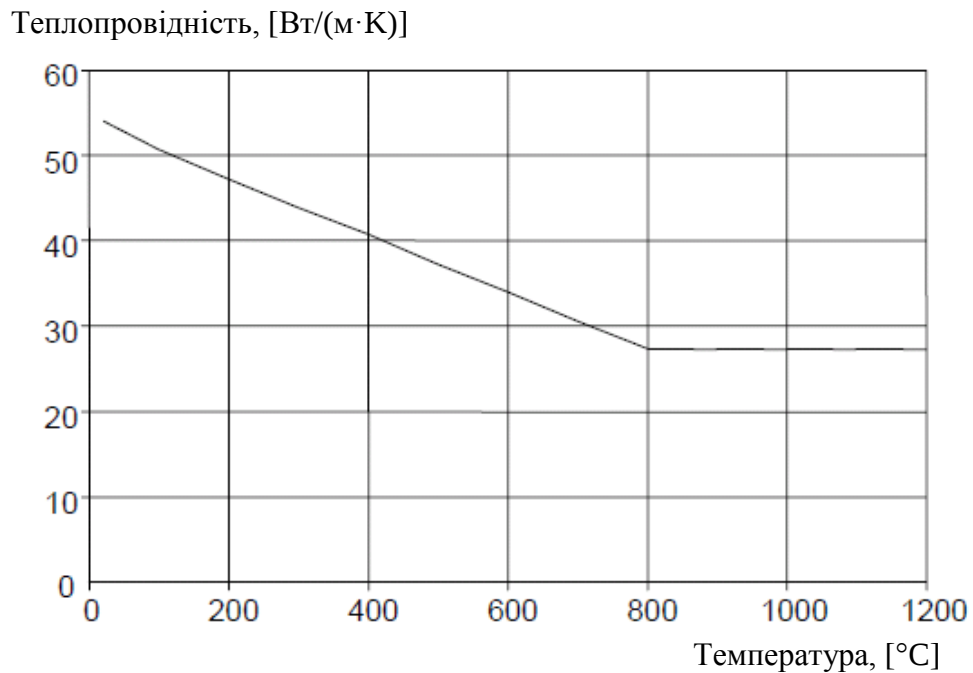


Рисунок 5 – Теплопровідність вуглецевої сталі залежно від температури

6.5.3.2 Вогнезахисні матеріали

Властивості та поведінку вогнезахисних матеріалів, які використані для проектування, оцінюють за методикою випробувань, що наведена в ДСТУ Б В.1.1-17. Зазначений стандарт містить вимогу, щоб вогнезахисні матеріали залишалися зчепленими та зв'язаними з їх основою протягом відповідного вогневого впливу.

6.6 Методика розрахунку на вогнестійкість

6.6.1 Загальні положення

6.6.1.1 Цей розділ встановлює правила, якими керуються під час розрахунку на вогнестійкість сталевих конструкцій, які можуть бути:

- незахищеними;
- ізольовані вогнезахисним матеріалом;
- захищені тепловими екранами.

Прикладами інших методів захисту сталевих конструкцій є їх наповнення водою або частковий захист в стінах та перекриттях.

6.6.1.2 Для визначення вогнестійкості сталевих конструкцій застосовують такі методи:

- спрощені розрахункові методи;

- уточнені розрахункові методи;
- експериментальні методи (випробування).

6.6.1.3 Спрощені методи розрахунку застосовують для окремих конструкцій.

6.6.1.4 Уточнені розрахункові методи – це методи, в яких інженерні принципи застосовані реалістичним чином до особливих прикладних задач. Ці методи застосовують для визначення вогнестійкості цілої конструктивної системи (будівлі), частини конструктивної системи або окремої конструкції.

6.6.2 Спрощені методи розрахунку

6.6.2.1 Загальні вимоги

6.6.2.1.1 Несуча здатність сталеві конструкції зберігається через проміжок часу t для даної пожежі, якщо виконується така умова:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}, \quad (24)$$

де $E_{fi,d}$ – розрахунковий навантажувальний ефект під час пожежі, що визначений відповідно до ДБН В.1.2-2;

$R_{fi,d,t}$ – відповідний розрахунковий опір сталеві конструкції під час пожежі у момент часу t .

6.6.2.1.2 Розрахунковий опір $R_{fi,d,t}$ у момент часу t визначають, зазвичай з припущенням рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі, змінюючи розрахунковий опір для проектування за нормальної температури згідно з ДБН В.2.6-198; для врахування механічних властивостей сталі за підвищених температур застосовують п. 6.6.2.3.

Примітка. У 6.6.2.3 $R_{fi,d,t}$ замінюють на $M_{fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$ та ін. (окремо або разом), а відповідні значення $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$ та ін. замінюють на $E_{fi,d}$.

6.6.2.1.3 Якщо використовують нерівномірний розподіл температури, розрахунковий опір за нормальної температури згідно з ДБН В.2.6-198 змінюють на основі цього розподілу температури.

6.6.2.1.4 Як альтернатива 6.6.2.1.1 із застосуванням допущення щодо рівномірного розподілу температури, перевірку можна виконувати в температурних параметрах, дивись 6.6.2.4.

6.6.2.1.5 Руйнування нетто-перерізу, який перетинає отвори для кріпильних деталей, не розглядається, за умови що кріпильні деталі є в кожному отворі, оскільки температура сталі в місці з'єднань нижча через наявність додаткового матеріалу.

6.6.2.1.6 Вогнестійкість болтового або зварного з'єднання вважають достатньою, якщо виконані такі умови:

- тепловий опір $(d_p/\lambda_p)_c$ вогнезахисту з'єднання дорівнює або перевищує мінімальне значення теплового опору $(d_p/\lambda_p)_m$ вогнезахисту, що застосований до будь-якої зі з'єднаних конструкцій;
- рівень навантаження з'єднання менший або дорівнює максимальному значенню рівня навантаження будь-якої зі з'єднаних конструкцій;
- міцність з'єднання за температури навколишнього середовища відповідає рекомендаціям, що наведені в ДБН В.2.6-198.

6.6.2.1.7 Як альтернатива методу, що наведений у 6.6.2.1.6 вогнестійкість з'єднання можна визначати за методом згідно з додатком К.

Примітка. Як спрощення порівняння рівнів використання з'єднань та з'єднаних конструкцій можна здійснювати за кімнатної температури.

6.6.2.1.8 Спрощені методи розрахунку можна застосовувати за умови дотримання вимог до матеріалів, приведених у 6.5.

6.6.2.2 Класифікація поперечних перерізів

6.6.2.2.1 Для цих спрощених методів розрахунку поперечні перерізи можна класифікувати відповідно до [4, 5] з таким зниженим значенням ε :

$$\varepsilon = 0,85 [235 / f_y]^{0,5}, \quad (25)$$

де f_y – границя текучості за температури 20 °C.

Примітка. Коефіцієнт зниження 0,85 враховує впливи від зростання температури.

6.6.2.3 Опір

6.6.2.3.1 Конструкції, що працюють на розтяг

6.6.2.3.1.1 Розрахункову несучу здатність $N_{fi,\theta,Rd}$ конструкції на розтяг з рівномірною температурою θ_a визначають за формулою:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}], \quad (26)$$

де $k_{y,\theta}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_a , що досягається в момент часу t , див. таблицю 1;

N_{Rd} – розрахункова несуча здатність поперечного перерізу $N_{pl,Rd}$ для проектування за нормальної температури.

6.6.2.3.1.2 Розрахункову несучу здатність $N_{fi,t,Rd}$ в момент часу t конструкції, що працює на розтяг, з нерівномірним розподілом температури по ширині поперечного перерізу визначають за формулою:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} f_{y,i} / \gamma_{M,fi}, \quad (27)$$

де A_i – елементарна площа поперечного перерізу за температури θ_i ;

$k_{y,\theta,i}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_i , див. таблицю 1;

θ_i – температура елементарної площі A_i .

6.6.2.3.1.3 Розрахункова несуча здатність $N_{fi,t,Rd}$ в момент часу t конструкції, що працює на розтяг, з нерівномірним розподілом температури може спрощено дорівнювати розрахунковій несучій здатності $N_{fi,\theta,Rd}$ конструкції, що працює на розтяг, з рівномірним розподілом температури сталі θ_a , що дорівнює максимальній температурі сталі $\theta_{a,max}$ в момент часу t .

6.6.2.3.2 Конструкції, що працюють на стиск, з поперечними перерізами Класу 1, Класу 2 або Класу 3

6.6.2.3.2.1 Розрахункову несучу здатність в момент часу t при поздовжньому згині $N_{b,fi,t,Rd}$ стиснутої конструкції з поперечним перерізом Класу 1, Класу 2 або Класу 3 з рівномірною температурою θ_a визначають за формулою:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_{y,i} / \gamma_{M,fi}, \quad (28)$$

де χ_{fi} – коефіцієнт зниження для втрати стійкості при згинанні для розрахунку на вогнестійкість;

$k_{y,\theta}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_a , що досягається в момент часу t , згідно з таблицею 1.

6.6.2.3.2.2 Значення χ_{fi} приймають як менше зі значень $\chi_{y,fi}$ та $\chi_{z,fi}$, що визначають за формулою:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}}, \quad (29)$$

$$\text{де } \varphi_{\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2],$$

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y}.$$

Гнучкість $\bar{\lambda}_{\theta}$ за температури θ_a визначають за формулою:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5}, \quad (30)$$

де $k_{y,\theta}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_a , що досягається в момент часу t згідно з таблицею 1;

$k_{E,\theta}$ – коефіцієнт зниження тангенсу кута нахилу лінійної пружної ділянки за температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t , згідно з таблицею 1.

6.6.2.3.2.3 Довжину зони поздовжнього згину l_{fi} колони для розрахунку на вогнестійкість загалом визначають як для проектування за нормальної температури. Однак, у рамно-в'язевому каркасі довжина зони поздовжнього згину l_{fi} колони може бути визначена, розглядаючи її як закріплену в напрямку неперервних або напівнеперервних в'язей до довжин колон у протипожежному відсіку над та під, за умови, що вогнестійкість огорожувальних конструкцій протипожежного відсіку не менше вогнестійкості колони.

6.6.2.3.2.4 Для рамно-в'язевого каркасу, де кожен поверх являє собою протипожежний відсік з відповідною вогнестійкістю, на середньому поверсі довжину зони поздовжнього згину l_{fi} неперервної колони можна приймати як $l_{fi} = 0,5L$, а на верхньому поверсі $l_{fi} = 0,7L$, де L – розрахункова довжина колони на відповідному поверсі, дивись рисунок 6.

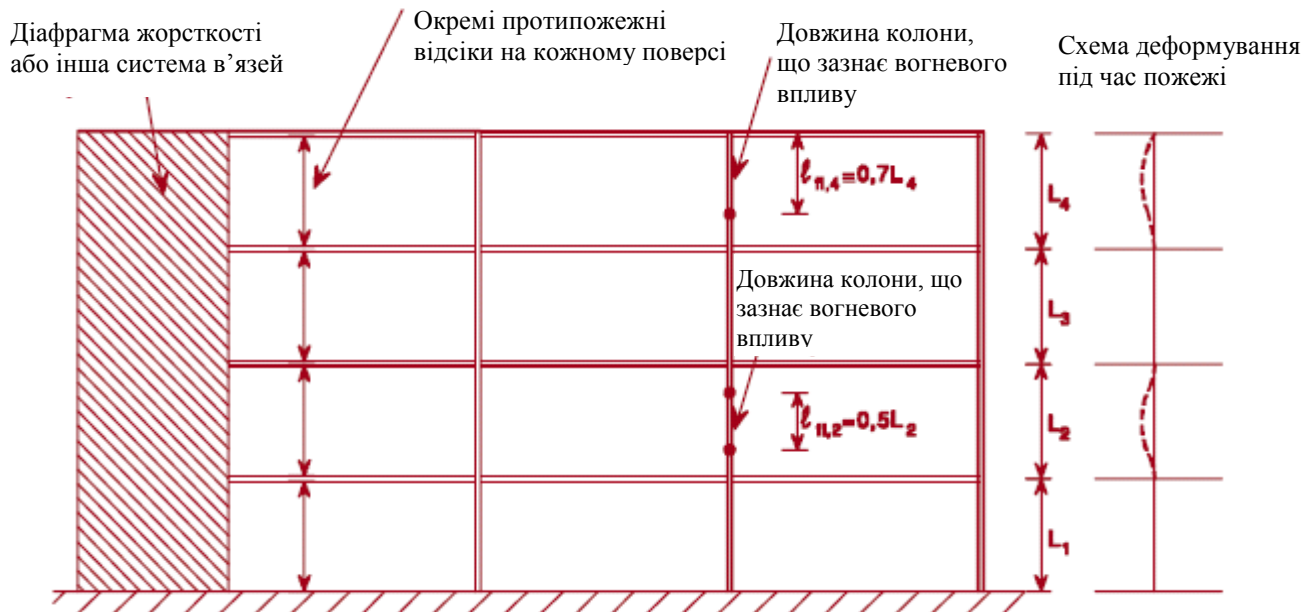


Рисунок 6 – Довжини зон поздовжнього згину l_{fi} колон рамно-в'язевого каркасу

6.6.2.3.2.5 Для проектування за номінальним температурним режимом розрахункова несуча здатність в момент часу t при поздовжньому згині $N_{b,fi,t,Rd}$ конструкції, що працює на стиск, з нерівномірним розподілом температури може дорівнювати розрахунковій несучій здатності при поздовжньому згині $N_{b,fi,t,Rd}$ конструкції, що працює на стиск, з рівномірним розподілом температури сталі θ_a , що дорівнює максимальній температурі сталі $\theta_{a,max}$ в момент часу t .

6.6.2.3.3 Балки з поперечними перерізами Класу 1 або Класу 2

6.6.2.3.3.1 Розрахункову несучу здатність при згині $M_{fi,\theta,Rd}$ балок із поперечним перерізом Класу 1 або Класу 2 і рівномірним розподілом температури θ_a визначають за формулою:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd}, \quad (31)$$

де M_{Rd} – згинальний момент у пластичному шарнірі $M_{pl,Rd}$ загального перерізу для проектування за нормальної температури згідно з ДБН В.2.6-198 або знижений згинальний момент для проектування за нормальної температури, що враховує впливи поперечної сили згідно з ДБН В.2.6-198;

$k_{y,\theta}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_a згідно з таблицею 1.

6.6.2.3.3.2 Розрахункову несучу здатність при згині $M_{fi,t,Rd}$ в момент часу t балок із поперечним перерізом Класу 1 або Класу 2 і нерівномірним розподілом температури по ширині перерізу визначають за формулою:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta,i} f_{y,i} / \gamma_{M,fi}, \quad (32)$$

де z_i – відстань від пластичної нейтральної осі до центру елементарної площі A_i ;

$f_{y,i}$ – номінальна границя текучості f_y для елементарної площі A_i , що приймається зі знаком плюс для стиснутої частини перерізу відносно нейтральної осі при пластичних деформаціях та зі знаком мінус – для розтягнутої частини перерізу;

A_i та $k_{y,\theta,i}$ визначені в 6.6.2.3.1.2.

6.6.2.3.3.3 Як альтернатива розрахункову несучу здатність при згині $M_{fi,t,Rd}$ в момент часу t балок із поперечним перерізом Класу 1 або Класу 2 і нерівномірним розподілом температури по ширині перерізу визначають за формулою:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / (\kappa_1 \kappa_2), \quad (33)$$

$$M_{fi,\theta,Rd} \leq M_{Rd},$$

де $M_{fi,\theta,Rd}$ – розрахункова несуча здатність перерізу при згині для рівномірного розподілення температури θ_a , яка дорівнює значенню рівномірно розподіленої температури θ_a в момент часу t у поперечному перерізі, що не зазнає теплового впливу від опор;

κ_1 – коефіцієнт для вирівнювання нерівномірного розподілу температури по ширині поперечного перерізу, дивись 6.6.2.3.3.7;

κ_2 – коефіцієнт для вирівнювання нерівномірного розподілу температури вздовж балки, дивись 6.6.2.3.3.8.

6.6.2.3.3.4 Розрахункову несучу здатність при згині з крученням $M_{b,fi,t,Rd}$ в момент часу t горизонтально необмеженої конструкції з поперечним перерізом Класу 1 або Класу 2 визначають за формулою:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi}, \quad (34)$$

де $\chi_{LT,fi}$ – коефіцієнт зниження для втрати стійкості при крученні для розрахунку на вогнестійкість;

$k_{y,\theta,com}$ – коефіцієнт зниження із таблиці 1 для границі текучості сталі за максимальної температури у стиснутій зоні $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t .

Примітка. Як правило, за $\theta_{a,com}$ приймають значення рівномірно розподіленої температури θ_a .

6.6.2.3.3.5 Значення $\chi_{LT,fi}$ визначають за формулами:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{[\phi_{LT,\theta,com}]^2 - [\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}]^2}}, \quad (35)$$

$$\text{де } \phi_{LT,\theta,com} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta,com})^2 \right],$$

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y}, \quad (36)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} [k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com}]^{0,5},$$

де $k_{E,\theta,com}$ – коефіцієнт зниження з таблиці 1 для тангенсу кута нахилу лінійної пружної ділянки для максимальної температури у стиснутій зоні $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t .

6.6.2.3.3.6 Розрахункову несучу здатність на дію поперечної сили $V_{fi,t,Rd}$ в момент часу t балок із поперечним перерізом Класу 1 або Класу 2 визначають за формулою:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}], \quad (37)$$

де V_{Rd} – несуча здатність на дію поперечної сили основного поперечного перерізу для проектування за нормальної температури згідно з ДБН В.2.6-198;

θ_{web} – середня температура стінки перерізу;

$k_{y,\theta,web}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_{web} , див. таблицю 1.

6.6.2.3.3.7 Значення коефіцієнту κ_1 для нерівномірного розподілу температури по ширині поперечного перерізу приймають таким чином:

- для балки, що зазнає впливу з усіх сторін, $\kappa_1 = 1,0$;

- для незахищеної балки, що зазнає впливу з трьох сторін, зі сталезалізо-бетонною або бетонною плитою, яка знаходяться на четвертій стороні, $\kappa_1 = 0,7$;

- для захищеної балки, що зазнає впливу з трьох сторін, зі сталезалізо-бетонною або бетонною плитою, яка знаходяться на четвертій стороні, $\kappa_1 = 0,85$.

6.6.2.3.3.8 Для нерівномірного температурного розподілу вздовж балки коефіцієнт κ_2 приймають таким чином:

- для статично невизначеної балки: $\kappa_2 = 0,85$;

- для всіх інших випадків: $\kappa_2 = 1,0$.

6.6.2.3.4 Балки із поперечними перерізами Класу 3

6.6.2.3.4.1 Розрахункову несучу здатність при згині $M_{fi,t,Rd}$ в момент часу t балки із поперечним перерізом Класу 3 із рівномірним розподілом температури визначають за формулою:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}], \quad (38)$$

де M_{Rd} – пружний згинальний момент основного поперечного перерізу $M_{el,Rd}$ для проектування за нормальної температури згідно з ДБН В.2.6-198 або знижений згинальний момент для проектування за нормальної температури, що враховує впливи поперечної сили згідно з ДБН В.2.6-198;

$k_{y,\theta}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_a згідно з таблицею 1.

6.6.2.3.4.2 Розрахункову несучу здатність при згині $M_{fi,t,Rd}$ в момент часу t балки із поперечним перерізом Класу 3 з нерівномірним розподілом температури визначають за формулою:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} M_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] / (\kappa_1 \kappa_2), \quad (39)$$

$$M_{fi,\theta,Rd} \leq M_{Rd},$$

де M_{Rd} – пружний згинальний момент основного поперечного перерізу $M_{el,Rd}$ для проектування за нормальної температури або знижений згинальний момент, що враховує впливи поперечної сили згідно з ДБН В.2.6-198;

$k_{y,\theta,\max}$ – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за максимальної температури у стиснутій зоні $\theta_{a,\max}$, що досягається в момент часу t ;

κ_1 – коефіцієнт для вирівнювання нерівномірного розподілу температури по ширині поперечного перерізу, дивись 6.6.2.3.3.7;

κ_2 – коефіцієнт для вирівнювання нерівномірного розподілу температури вздовж балки, дивись 6.6.2.3.3.8.

6.6.2.3.4.3 Розрахункову несучу здатність при поздовжньому згині $M_{b,fi,t,Rd}$ необмеженої збоку балки із поперечним перерізом Класу 3 в момент часу t визначають за формулою:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi}, \quad (40)$$

де $\chi_{LT,fi}$ визначено в 6.6.2.3.3.

Примітка. Як правило, за $\theta_{a,com}$ приймають максимальну температуру $\theta_{a,\max}$.

6.6.2.3.4.4 Розрахункову несучу здатність на дію поперечної сили $V_{fi,t,Rd}$ в момент часу t для поперечного перерізу Класу 3 визначають за формулою:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (41)$$

де V_{Rd} – несуча здатність на дію поперечної сили основного поперечного перерізу для проектування за нормальної температури.

6.6.2.3.5 Конструкції, що працюють на стиск зі згином, із поперечними перерізами Класів 1, 2 або 3

6.6.2.3.5.1 Розрахункову несучу здатність при поздовжньому згині $R_{fi,t,d}$ в момент часу t стиснуто-зігнутої конструкції перевіряють виконанням умов (42) та (43) для конструкції з поперечним перерізом Класу 1 або Класу 2, або умов (44) та (45) для конструкції з поперечним перерізом Класу 3.

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (42)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (43)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (44)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (45)$$

де $\chi_{\min,fi}$ визначено у 6.6.2.3.2;

$\chi_{z,fi}$ визначено у 6.6.2.3.2;

$\chi_{LT,fi}$ визначено у 6.6.2.3.3.5;

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1, \quad (46)$$

де $\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3, \quad (47)$$

де

для сильної осі $\mu_y = (2\beta_{M,y} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} + 0,29 \leq 0,8$

та $\bar{\lambda}_{y,20^\circ C} \leq 1,1$.

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3, \quad (48)$$

де

для слабкої осі $\mu_z = (1, 2\beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71\beta_{M,z} - 0,29 \leq 0,8$.

Примітка. Коефіцієнти еквівалентного рівномірного моменту β_M вказано на рисунку 7.

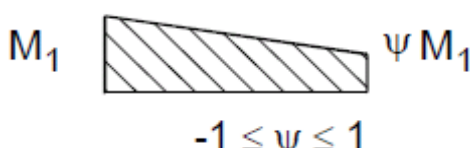
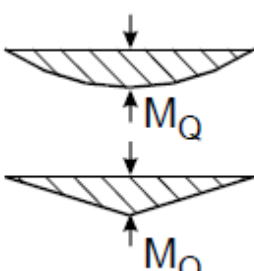
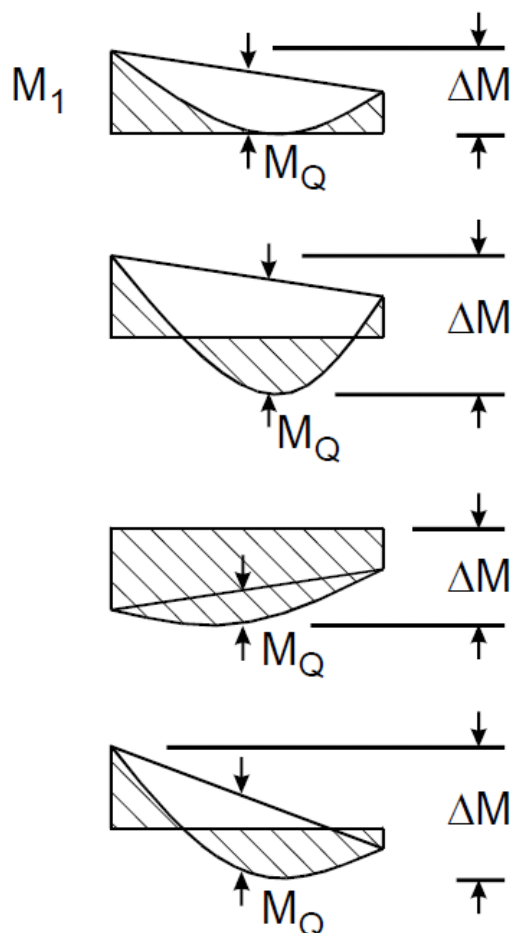
Епюра моментів	Коефіцієнти еквівалентного рівномірного моменту β_M
Кінцеві моменти  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
Моменти від дії плоского поперечного навантаження 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
Моменти від дії плоского поперечного навантаження та кінцеві моменти 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M$ лише від поперечного навантаження $\Delta M = \begin{cases} \max M & \text{для епюри моментів без зміни знаку} \\ \max M + \min M & \text{для епюри моментів зі зміною знаку} \end{cases}$

Рисунок 7 – Коефіцієнти еквівалентного рівномірного моменту

6.6.2.3.6 Конструкції з поперечними перерізами Класу 4

6.6.2.3.6.1 Для конструкцій з поперечними перерізами Класу 4, окрім тих, що працюють на розтяг, можна припустити, що умова 6.6.2.1.1 забезпечена, якщо в момент часу t температура сталі θ_a в усіх поперечних перерізах не перевищує $\theta_{crit} = 350$ °С.

Додаткову інформацію стосовно спрощених методів розрахунку для конструкцій із поперечними перерізами Класу 4 наведено у додатку М.

6.6.2.4 Критична температура

6.6.2.4.1 Як альтернатива до 6.6.2.3 (визначенню розрахункової несучої здатності) перевірку можна зробити в температурних параметрах шляхом порівняння розрахункових температур із критичною температурою.

6.6.2.4.2 Критична температура $\theta_{a,cr}$ вуглецевої сталі у момент часу t для рівномірного розподілу температури в конструкції може бути визначена для будь-якого ступеня використання μ_0 у момент часу $t = 0$, окрім випадку, коли розглядається критерій деформації або треба враховувати явище втрати стійкості, за формулою:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482, \quad (49)$$

де μ_0 не менше 0,013.

Значення $\theta_{a,cr}$ для величини μ_0 від 0,22 до 0,80 наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Критична температура $\theta_{a,cr}$ для значень ступеня використання μ_0

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

6.6.2.4.3 Для конструкцій з поперечними перерізами Класу 1, 2 або 3 та для всіх конструкцій, що працюють на розтяг, ступінь використання μ_0 в момент часу $t = 0$ визначають за формулою:

$$\mu_0 = E_{fi,d}/R_{fi,d,0}, \quad (50)$$

де $R_{fi,d,0}$ – значення $R_{fi,d,t}$ в момент часу $t = 0$; $E_{fi,d}$ та $R_{fi,d,t}$ згідно з 6.6.2.1.

6.6.2.4.4 Альтернативно для конструкцій, що працюють на розтяг, та для балок, для яких поздовжній згин з крученням не є можливим видом руйнування, μ_0 можна спрощено визначити за формулою:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\gamma_{M,fi} / \gamma_{M,0}], \quad (51)$$

де η_{fi} – коефіцієнт зниження згідно з 6.4.2.3.

6.6.2.5 Зростання температури сталі

6.6.2.5.1 Незахищені внутрішні сталеві конструкції

6.6.2.5.1.1 Приріст температури сталі $\Delta\theta_{a,t}$ для розрахункового рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі незахищеної сталеві конструкції за проміжок часу Δt визначають за формулою:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t, \quad (52)$$

де k_{sh} – коригувальний коефіцієнт ефекту затінення;

A_m / V – коефіцієнт перерізу незахищеної сталеві конструкції, m^{-1} ;

A_m – площа поверхні конструкції, m^2 ;

V – об'єм конструкції, m^3 ;

c_a – питома теплоємність сталі, Дж/(кг К);

$\dot{h}_{net}$ – розрахункове значення результативного теплового потоку, Вт/ m^2 ;

Δt – проміжок часу, с;

ρ_a – густина сталі, kg/m^3 .

6.6.2.5.1.2 Коригувальний коефіцієнт ефекту затінення для двотаврових перерізів при номінальному вогневому впливі визначають за формулою:

$$k_{sh} = 0,9 [A_m / V]_b / [A_m / V], \quad (53)$$

де $[A_m / V]_b$ – значення коефіцієнту коробчастого поперечного перерізу.

Для всіх інших перерізів значення k_{sh} визначають за формулою:

$$k_{sh} = [A_m / V]_b / [A_m / V], \quad (54)$$

Для поперечних перерізів опуклої форми (наприклад, прямокутних або круглих пустотних перерізів), які зазнають вогневого впливу з усіх сторін, ефект затінення не відіграє ролі та, відповідно, коригувальний коефіцієнт k_{sh} дорівнює одиниці.

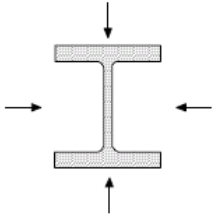
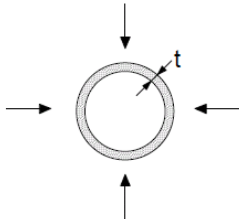
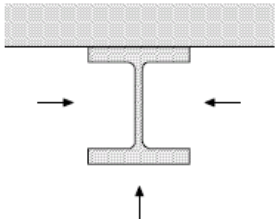
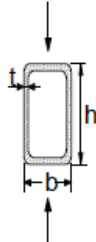
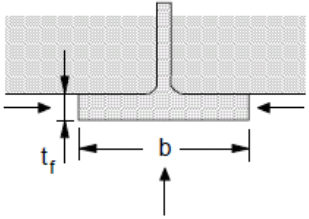
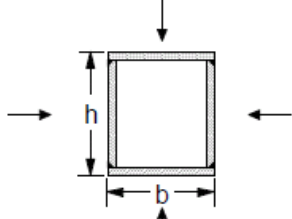
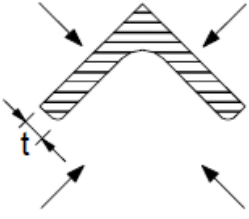
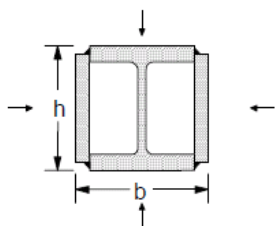
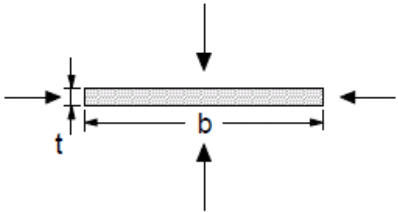
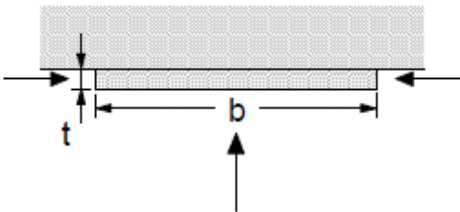
6.6.2.5.1.3 Значення $\dot{h}_{net,d}$ визначають за 5.6, приймаючи $\varepsilon_f = 1,0$ та ε_m відповідно до 5.6.1.6.

6.6.2.5.1.4 Значення Δt приймають не більше ніж 5 с.

6.6.2.5.1.5 У формулах (53), (54) значення A_m/V приймають не менше ніж 10 м^{-1} .

Деякі формули для визначення розрахункових значень коефіцієнта перерізу A_m / V для незахищених сталевих конструкцій наведені в таблиці 3.

Таблиця 3– Коефіцієнт перерізу A_m / V для незахищених сталевих конструкцій

Відкритий переріз, що зазнає впливу вогню з усіх сторін: $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{периметр}}{\text{площа перерізу}}$ 	Труба, що зазнає впливу вогню з усіх сторін: $A_m / V = 1/t$ 
Відкритий переріз, що зазнає впливу вогню з трьох сторін: $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{поверхня, що зазнає впливу вогню}}{\text{площа перерізу}}$ 	Пустотілий переріз (або зварений коробчатий переріз з однаковою товщиною стінки), що зазнає впливу вогню з усіх сторін: Якщо $t \ll b$: $A_m / V \approx 1/t$ 
Полиця двотаврового перерізу, що зазнає впливу вогню з трьох сторін: $A_m / V = (b + 2t_f) / (bt_f)$ Якщо $t \ll b$: $A_m / V \approx 1/t_f$ 	Зварений коробчатий переріз, що зазнає впливу вогню з усіх сторін: $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{площа перерізу}}$ Якщо $t \ll b$: $A_m / V \approx 1/t$ 
Кутик, що зазнає впливу вогню з усіх сторін: $A_m / V = 2/t$ 	Двотавровий переріз із коробчатим підсиленням, що зазнає впливу вогню з усіх сторін: $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{площа перерізу}}$ 
Плоский прокат, що зазнає впливу вогню з усіх сторін: $A_m / V = 2(b+t) / (bt)$ Якщо $t \ll b$: $A_m / V \approx 2/t$ 	Плоский прокат, що зазнає впливу вогню з трьох сторін: $A_m / V = (b + 2t) / (bt)$ Якщо $t \ll b$: $A_m / V \approx 1/t$ 

6.6.2.5.2 Внутрішня сталевая конструкція, що вкрита вогнезахисним матеріалом

6.6.2.5.2.1 Приріст температури $\Delta\theta_{a,t}$ за проміжок часу Δt для рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі захищеної сталевий конструкції визначають за формулою:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a (1 + \phi / 3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t}, \quad (55)$$

(але $\Delta\theta_{a,t} \geq 0$ якщо $\Delta\theta_{g,t} > 0$)

де A_p / V – коефіцієнт перерізу сталевих конструкцій, що вкриті вогнезахисним матеріалом, m^{-1} ;

A_p – площа поверхні вогнезахистного матеріалу, m^2 ;

V – об'єм конструкції, m^3 ;

c_a – питома теплоємність сталі, що залежить від температури, Дж/(кг К);

c_p – питома теплоємність вогнезахисного матеріалу, що не залежить від температури, Дж/(кг К);

d_p – товщина вогнезахисного матеріалу, м;

Δt – інтервал часу, с;

$\theta_{a,t}$ – температура сталі в момент часу t , °С;

$\theta_{g,t}$ – температура газового середовища в момент часу t , °С;

$\Delta\theta_{g,t}$ – приріст температури газового середовища за проміжок часу Δt , °С;

λ_p – теплопровідність вогнезахисного матеріалу, Вт/(м К);

ρ_a – густина сталі, кг/м³;

ρ_p – густина вогнезахисного матеріалу, кг/м³.

ϕ – коефіцієнт, який розраховують за такою формулою:

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V. \quad (56)$$

6.6.2.5.2.2 Значення c_p , λ_p та ρ_p визначають згідно з п. 6.5.

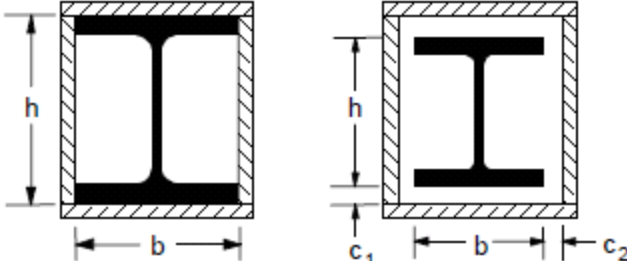
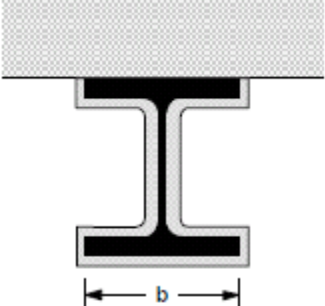
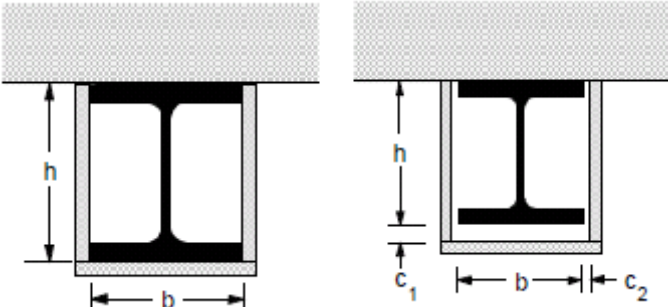
6.6.2.5.2.3 Значення Δt приймають не більше ніж 30 с.

6.6.2.5.2.4 Площу поверхні вогнезахисного матеріалу A_p , як правило, приймають як площу його внутрішньої поверхні, а для пустотілого

облицювання із зазором навколо сталеві конструкції можна приймати таке ж значення, як для пустотілого облицювання без зазору.

Деякі формули для розрахунку значення коефіцієнту перерізу A_p / V для ізолюваних сталевих конструкцій наведені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Коефіцієнт перерізу A_p / V для сталевих конструкцій, що вкриті вогнезахисним матеріалом

Ескіз перерізу	Опис	Коефіцієнт перерізу (A_p / V)
	Зовнішнє облицювання рівномірної товщини	$\frac{\text{периметр сталі}}{\text{площа сталевго перерізу}}$
	Пустотіле облицювання рівномірної товщини) ¹	$\frac{2(b + h)}{\text{площа сталевго перерізу}}$
	Зовнішнє облицювання рівномірної товщини, що зазнає впливу вогню з трьох сторін	$\frac{\text{периметр сталі} - b}{\text{площа сталевго перерізу}}$
	Пустотіле облицювання рівномірної товщини, що зазнає впливу вогню з трьох сторін) ¹	$\frac{2h + b}{\text{площа сталевго перерізу}}$

)¹ Розміри зазорів c_1 та c_2 не перевищують $h/4$.

6.6.2.5.2.5 Для вологих вогнезахисних матеріалів розрахунок приросту температури сталі $\Delta\theta_a$ може бути змінено, щоб врахувати збільшення часу прогрівання сталі в інтервалі до 100 °С. Збільшення цього часу визначають за методом, наведеним у ДСТУ Б В.1.1-17.

6.6.2.5.2.6 Як альтернатива розрахунку за формулою (56) рівномірну температуру ізольованої сталевій конструкції при стандартному вогневому впливу визначеної тривалості можна отримати, використовуючи методи і дані, що визначені згідно з ДСТУ Б В.1.1-17.

6.6.2.5.3 Внутрішня сталева конструкція у пустоті, яка захищена тепловими екранами

6.6.2.5.3.1 Положення, що наведені нижче, застосовують у таких ситуаціях:

- сталева конструкція у пустоті, що має перекриття вгорі та горизонтальний тепловий екран знизу;
- сталева конструкція у пустоті, що має вертикальні теплові екрани з обох сторін.

Для зазначених ситуацій передбачається наявність зазора між тепловим екраном та конструкцією.

Ці положення не застосовують, якщо тепловий екран безпосередньо дотикається до конструкції.

6.6.2.5.3.2 Розрахунок приросту температури сталі $\Delta\theta_a$ внутрішніх сталевих конструкцій, що захищені тепловими екранами, базується на методах, що наведені в 6.6.2.5.1 або 6.6.2.5.2, відповідно. При цьому температуру $\Delta\theta_{g,t}$ приймають такою, що дорівнює температурі газового середовища у пустоті.

6.6.2.5.3.3 Властивості та характеристики теплових екранів, що використовують у розрахунках, а також розвиток температури газового середовища у пустоті, в якій розташовані сталеві конструкції, визначають шляхом випробування за методами, що визначені в [6] або [7].

6.6.2.5.4 Зовнішні сталеві конструкції

6.6.2.5.4.1 Температуру зовнішніх сталевих конструкцій визначають, враховуючи:

- радіаційний тепловий потік від протипожежного відсіку;

- радіаційний та конвективний теплові потоки від полум'я, що виходить із прорізів;
- радіаційні та конвективні втрати тепла від сталеві конструкції до навколишнього середовища;
- розміри та розташування будівельних конструкцій.

6.6.2.5.4.2 Теплові екрани можуть бути встановлені з одного, двох або трьох сторін зовнішньої сталеві конструкції, щоб захистити її від радіаційної передачі тепла.

6.6.2.5.4.3 Теплові екрани повинні:

- безпосередньо кріпитися до сторони сталеві конструкції, яка потребує захисту або
- бути достатнього розміру, щоб повністю захистити сторону конструкції від радіаційного теплового потоку.

6.6.2.5.4.4 Теплові екрани, які розглядають у додатку Н, виконують із негорючих матеріалів. Клас вогнестійкості цих теплових екранів становить не менше EI 30 відповідно до [8].

6.6.2.5.4.5 Температуру в зовнішній сталевій конструкції, що захищена тепловими екранами, визначають, приймаючи, що радіаційна передача тепла до сторін, які захищені тепловими екранами, не відбувається.

6.6.2.5.4.6 Розрахунки можуть виконуватись для умов стаціонарного режиму, що отримані зі стаціонарного теплового балансу, за допомогою методів, наведених у додатку Н.

6.6.2.5.4.7 Розрахунок згідно з додатком Н базується на застосуванні моделі, наведеної у додатку Д, яка описує умови пожежі у відсіку та параметри полум'я, що виходить із прорізів, на яких базується розрахунок радіаційного та конвективного теплових потоків.

6.6.3 Уточнені розрахункові методи

6.6.3.1 Загальні положення

6.6.3.1.1 Уточнені розрахункові методи забезпечують реалістичний розрахунок конструкцій, що зазнають вогневого впливу. Методи базуються

на фундаментальній фізичній роботі таким чином, щоб забезпечити прийнятний рівень наближення результатів розрахунку до очікуваної роботи конструктивної системи, її частини або окремої конструкції під час пожежі.

6.6.3.1.2 Можливим руйнуванням будь-яких видів, які не розглядає уточнений розрахунковий метод (включаючи місцеву втрату стійкості при поздовжньому згині та руйнування від дії поперечної сили), можна запобігти шляхом реалізації відповідних заходів.

6.6.3.1.3 Уточнені розрахункові методи містять окремі розрахункові моделі для визначення:

- підвищення та розподілу температури в конструкціях (теплотехнічний розрахунок);
- механічної поведінки конструктивної системи або будь-якої її частини (статичний розрахунок).

6.6.3.1.4 Уточнені розрахункові методи можуть бути застосовані для будь-якого режиму нагрівання за умови, що відомі властивості матеріалів для відповідних діапазонів температур.

6.6.3.1.5 Уточнені розрахункові методи можна використовувати для конструкцій з будь-яким типом поперечного перерізу.

6.6.3.2 Теплотехнічний розрахунок

6.6.3.2.1 Уточнені розрахункові методи базуються на загальновизнаних принципах та припущеннях теорії теплообміну.

6.6.3.2.2 Теплова модель, яку застосовують при теплотехнічному розрахунку, враховує:

- відповідні теплові впливи;
- зміну теплофізичних властивостей матеріалу залежно від температури.

6.6.3.2.3 За необхідністю враховують вплив нерівномірності розподілу теплового впливу та теплопередачу до сусідніх частин будинку.

6.6.3.2.4 Впливом наявності вологи та її переносом всередині вогнезахисного матеріалу можна знехтувати.

6.6.3.3 Статичний розрахунок

6.6.3.3.1 Уточнені розрахункові моделі для статичного розрахунку базуються на загальновизнаних принципах та припущеннях теорії будівельної механіки, що враховують зміни властивостей матеріалів залежно від температури.

6.6.3.3.2 Враховують ефекти температурних деформацій та напружень, що виникають через підвищення та перепади температур.

6.6.3.3.3 Модель для статичного розрахунку також враховує:

- спільно механічні навантажувальні ефекти, геометричні дефекти та теплові впливи;
- механічні властивості матеріалів, що залежать від температури, дивись 6.5;
- геометрично нелінійні ефекти;
- ефекти нелінійних властивостей матеріалів, включаючи несприятливі впливи навантаження та розвантаження на жорсткість конструкції.

6.6.3.3.4 Ефекти нестационарної температурної повзучості не потребують детального розгляду, якщо використовують діаграми “напруження-деформації” згідно з 6.5.

6.6.3.3.5 Деформації у граничному стані, що визначені розрахунковим методом, обмежують, щоб гарантувати, що сумісність усіх частин конструктивної системи збережена.

6.6.3.3.6 Проектування враховує граничний стан, за межами якого розрахункові деформації конструктивної системи спричиняють руйнування внаслідок втрати відповідної опори однієї з конструкцій.

6.6.3.3.7 Для розрахунку окремих вертикальних конструкцій приймають початкове відхилення осі елемента у формі синусоїди з максимальним значенням $h/1000$ посередині висоти, якщо інше не визначено відповідними стандартами на продукцію.

6.6.3.4 Верифікація уточнених розрахункових моделей

6.6.3.4.1 Перевірка точності (верифікація) розрахункових моделей здійснюється на основі результатів відповідних випробувань.

6.6.3.4.2 Результати розрахунків можуть стосуватися деформацій, температури та межі вогнестійкості.

6.6.3.4.3 Критичні значення перевіряють шляхом проведення аналізу чутливості, щоб пересвідчитися у тому, що модель відповідає інженерним принципам міцності.

6.6.3.4.4 Критичні значення можуть стосуватися, наприклад, розрахункової довжини, розміру конструкцій, рівня навантаження.

ДОДАТОК А (довідковий)

ЕКВІВАЛЕНТНА ТРИВАЛІСТЬ ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ

A.1 Цей підхід використовують у разі, коли проектування конструкцій базується на табличних даних або на застосуванні спрощених методів згідно зі стандартним температурним режимом пожежі.

A.2 Якщо питоме пожежне навантаження визначено без його індивідуальної оцінки (див. додаток В), то цей підхід обмежується протипожежними відсіками з пожежним навантаженням переважно целюлозного типу.

A.3 Еквівалентну тривалість $t_{e,d}$ (хв) вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі визначають за формулою (A.1) або за формулою (A.2):

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) \cdot k_c; \quad (A.1)$$

$$t_{e,d} = (q_{t,d} \cdot k_b \cdot w_t) \cdot k_c, \quad (A.2)$$

де $q_{f,d}$ – розрахункове питоме пожежне навантаження відповідно до додатку В, $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f/A_t$;

k_b – коефіцієнт перерахунку;

w_f – коефіцієнт вентиляції, $w_t = w_f \cdot A_t/A_f$;

k_c – коригувальний коефіцієнт, значення якого залежить від матеріалу конструкції (див. таблицю А.1).

Таблиця А.1 – Коригувальний коефіцієнт k_c для різних матеріалів
(O – коефіцієнт врахування прорізів, що наведений в додатку Г)

Матеріал конструкції	Коригувальний коефіцієнт k_c
Залізобетон	1,0
Захищена сталь	1,0
Незахищена сталь	$13,7 \cdot O$

Якщо не виконується детальна оцінка теплофізичних властивостей матеріалів огорожувальних конструкцій, то приймають $k_b=0,07$ хв·м²/МДж. Інакше значення коефіцієнту k_b залежно від теплопоглинальної здатності

($b = \sqrt{\rho c \lambda}$) матеріалу огорожувальних конструкцій визначають згідно з Таблицею А.2. Для розрахунку теплопоглинальної здатності b стін, підлог і стель, які виконано з багатошарових матеріалів або комбінованих матеріалів, застосовують положення, наведені в додатку Г.

Таблиця А.2 – Коефіцієнт k_b залежно від теплопоглинальної здатності матеріалу огорожувальних конструкцій

$b = \sqrt{\rho c \lambda}$, Дж/(м ² ·с ^{1/2} ·К)	k_b , хв·м ² /МДж
$b > 2500$	0,04
$720 \leq b \leq 2500$	0,055
$b < 720$	0,07

Коефіцієнт вентиляції w_f ($w_f \geq 0,5$) визначають за формулою:

$$w_f = (6,0/H)^{0,3} [0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)], \quad (\text{A.3})$$

де $\alpha_v = A_v/A_f$ – відношення площі вертикальних прорізів у фасаді (A_v) до площі підлоги у відсіку (A_f), $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$;

$\alpha_h = A_h/A_f$ – відношення площі горизонтальних прорізів у покритті (A_h) до площі підлоги у відсіку (A_f);

$$b_v = 12,5(1 + 10\alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0;$$

H – висота протипожежного відсіку, м.

Для малих протипожежних відсіків ($A_f < 100$ м²) без прорізів у покритті коефіцієнт w_f визначають за формулою:

$$w_f = O^{1/2} \cdot A_f/A_b, \quad (\text{A.4})$$

де O – коефіцієнт врахування прорізів згідно з додатком Г.

Перевіряють виконання умови:

$$t_{e,d} < t_{fi,d}, \quad (\text{A.5})$$

де $t_{fi,d}$ – час, який відповідає розрахунковому значенню межі вогнестійкості конструкцій, хв.

ДОДАТОК Б (довідковий)

КУТОВИЙ КОЕФІЦІЄНТ

Б.1 Загальні положення

Б.1.1 Кутовий коефіцієнт Φ визначають за формулою:

$$\Phi_{dA_1-dA_2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S_{1-2}^2} dA_1 dA_2, \quad (\text{Б.1})$$

Кутовий коефіцієнт вказує частку загального теплового потоку від випромінювальної поверхні, яка досягає заданої приймальної поверхні. Його значення залежить від розміру випромінювальної поверхні, відстані між випромінювальною та приймальною поверхнями та від їх взаємного розташування (див. рисунок Б.1).

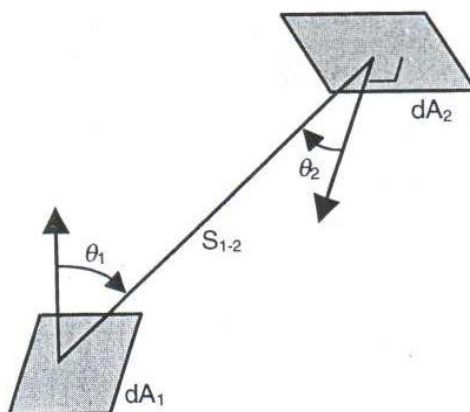


Рисунок Б.1 – Радіаційний теплообмін між двома поверхнями з нескінченно малими площами

Б.1.2 Якщо випромінювач має рівномірні температуру і випромінювальну здатність, то визначення кутового коефіцієнту можна спростити і навести його таким чином: «просторовий кут, в межах якого випромінювальну поверхню можна бачити з окремої поверхні з нескінченно малою площею, розділений на 2π ».

Б.1.3 Радіаційний теплообмін до нескінченно малої площі випуклої поверхні конструкції визначається лише розташуванням та розмірами пожежі (вплив розташування).

Б.1.4 Радіаційний теплообмін до нескінченно малої площі увігнутої поверхні конструкції визначається розташуванням та розмірами пожежі (вплив

розташування), а також випромінюванням від інших частин конструкції (вплив затінення).

Б.1.5 Граничні значення кутового коефіцієнту Φ наведено в Таблиці Б.1.

Таблиця Б.1 – Граничні значення кутового коефіцієнту Φ

		Локальна пожежа	Повністю розвинена пожежа
вплив розташування		$\Phi \leq 1$	$\Phi = 1$
вплив затінення	випукла поверхня	$\Phi = 1$	$\Phi = 1$
	увігнута поверхня	$\Phi \leq 1$	$\Phi \leq 1$

Б.2 Вплив затінення

Б.2.1 Спеціальні правила визначення впливу затінення для сталевих конструкцій визначено в додатку Н, для конструкцій з інших матеріалів – у відповідних стандартах, які встановлюють методи розрахунку конструкцій на вогнестійкість.

Б.3 Зовнішні конструкції

Б.3.1 Для визначення температури зовнішніх конструкцій прийнято, що всі випромінювальні поверхні мають прямокутну форму. Це стосується вікон та інших прорізів у стінах протипожежного відсіку, а також еквівалентних прямокутників поверхні полум'я (див. додаток Д).

Б.3.2 Для розрахунку кутового коефіцієнта на поперечному перерізі конструкції, на яку впливає радіаційний потік, спершу окреслюють проекції прямокутників (див. рисунок Б.2). Це необхідно для врахування ефекта затінення. Значення Φ визначають для точки Р, що розташована посередині кожної зі сторін цього прямокутника.

Б.3.3 Кутовий коефіцієнт для кожної приймальної поверхні визначають як суму складових від кожної зони випромінювальної поверхні (зазвичай чотирьох), які видимі з точки Р на приймальній поверхні (див. рисунки Б.3 та Б.4). Ці зони визначають відносно точки Х, яка знаходиться на випромінювальній поверхні в місці перетину горизонтальної лінії, перпендикулярній до приймальної поверхні. Складові зон, які не видимі з точки Р, наприклад, ту, що заштриховано на рисунку Б.4, не враховують.

Б.3.4 Якщо точка X розташована поза випромінювальної поверхні, то розрахунковий кутовий коефіцієнт визначають додаванням складових двох прямокутників, що побудовані від точки X до віддаленого краю випромінювальної поверхні, та подальшим відніманням складових двох прямокутників, які побудовано від точки X до найближчого краю випромінювальної поверхні.

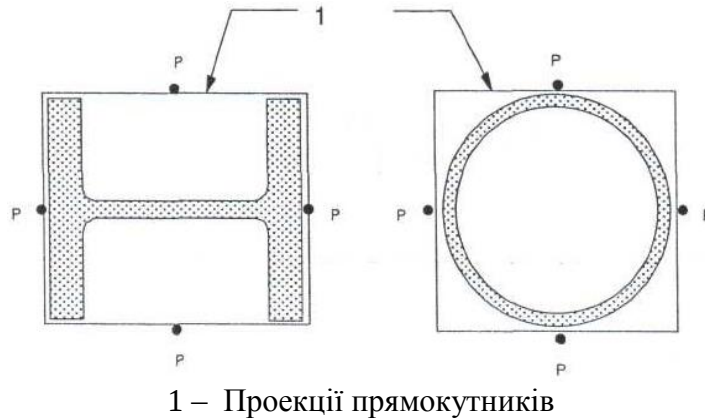


Рисунок Б.2 – Проекції приймальних поверхонь

Б.3.5 Складову кожної зони визначають таким чином:

а) якщо приймальна поверхня паралельна випромінювальній поверхні:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{0.5}} \right) + \frac{b}{(1+a^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+a^2)^{0.5}} \right) \right], \quad (\text{Б.2})$$

де $a = h/s$;

$b = w/s$;

s – відстань від точки P до точки X ;

h – висота зони на випромінювальній поверхні;

w – ширина зони на випромінювальній поверхні;

б) якщо приймальна поверхня перпендикулярна до випромінювальної поверхні:

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{1}{(1+b^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+a^2)^{0.5}} \right) \right]; \quad (\text{Б.3})$$

в) якщо приймальна поверхня знаходиться під кутом θ до випромінювальної поверхні (див. рисунок Б.5):

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1-b \cos \theta)}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0.5}} \right) + \right.$$

$$+ \frac{a \cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{b - \cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \right) \right], \quad (\text{Б.4})$$

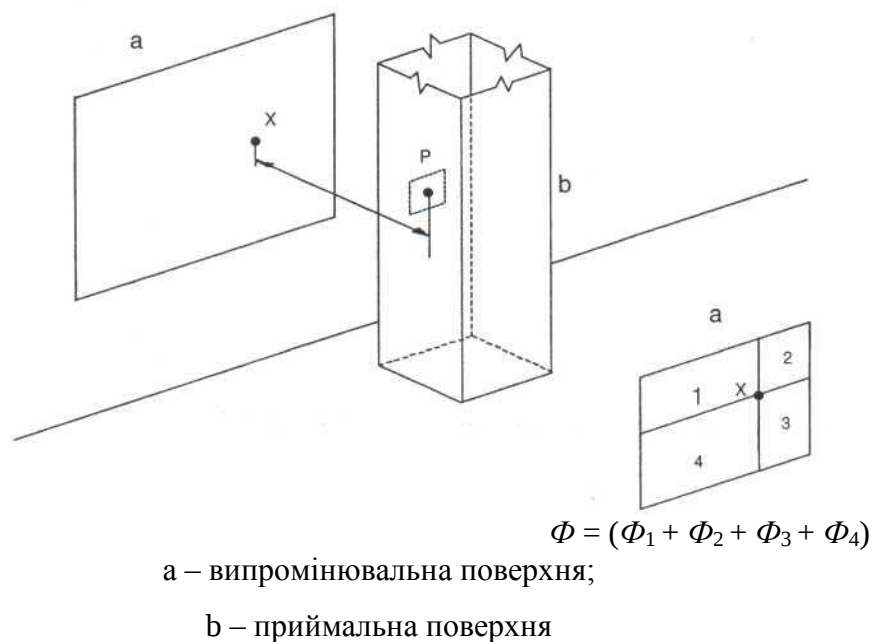


Рисунок Б.3 – Приймальна поверхня паралельна випромінювальній поверхні

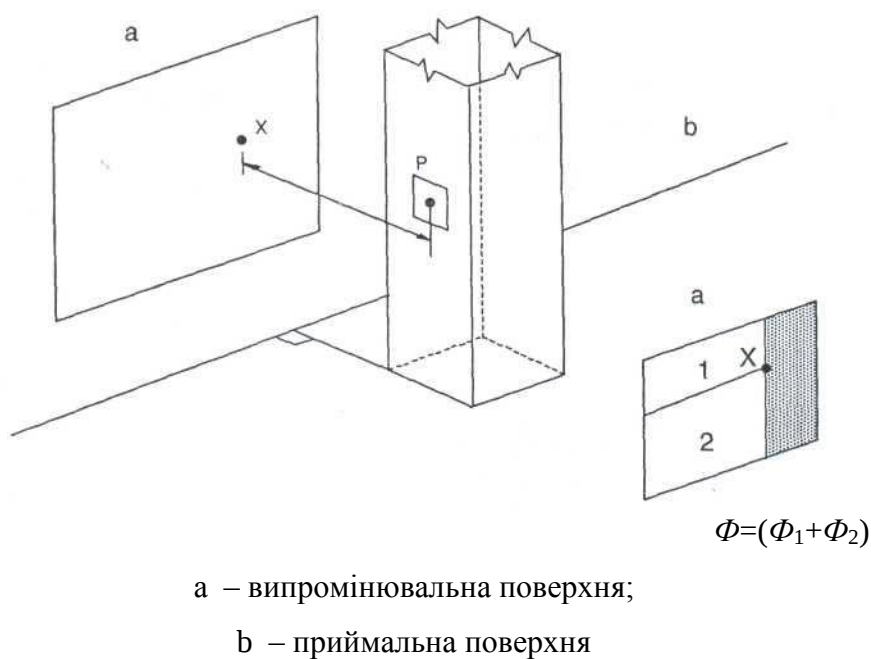
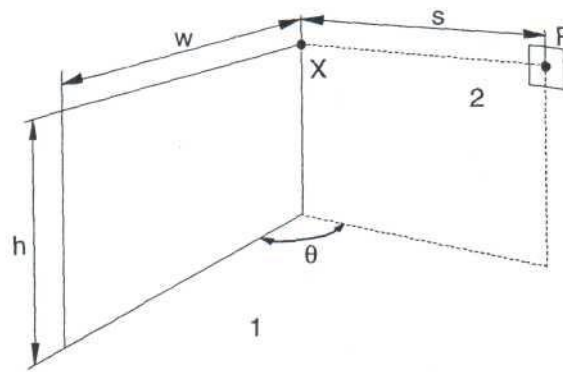


Рисунок Б.4 – Приймальна поверхня перпендикулярна до випромінювальної поверхні



a – випромінювальна поверхня;

b – приймальна поверхня

Рисунок Б.5 – Приймальна поверхня знаходиться під кутом θ до випромінювальної поверхні

ДОДАТОК В
(довідковий)

РОЗРАХУНКОВЕ ПИТОМЕ ПОЖЕЖНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

В.1 Загальні положення

В.1.1 Розрахункове питома пожежне навантаження може бути визначене одним із зазначених способів:

- за пожежним навантаженням, визначеним для типових приміщень;
- окремо для індивідуального проекту шляхом проведення обстеження пожежного навантаження.

В.1.2 Розрахункове питома пожежне навантаження $q_{f,d}$ визначають за формулою:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n, \quad (\text{В.1})$$

де m – коефіцієнт повноти сгорання;

δ_{q1} – коефіцієнт, що враховує ризик виникнення пожежі залежно від розмірів відсіку (див. Таблицю В.1);

δ_{q2} – коефіцієнт, що враховує ризик виникнення пожежі залежно від типу приміщення (див. Таблицю В.1);

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ – коефіцієнт, що враховує різноманітні i -ті заходи активного протипожежного захисту (автоматичне пожежогасіння, автоматична пожежна сигналізація тощо, див. Таблицю В.2);

$q_{f,k}$ – питома пожежне навантаження, МДж/м² (див. Таблицю В.4).

Таблиця В.1 – Коефіцієнти δ_{q1} , δ_{q2}

Площа поверху відсіку A_f , м ²	Коефіцієнт δ_{q1}	Коефіцієнт δ_{q2}	Перелік приміщень
25	1,10	0,78	галерея мистецтв, музей, басейн для плавання
250	1,50	1,00	офіс, житлове приміщення, готель, паперова індустрія
2 500	1,90	1,22	машинобудівний завод
5 000	2,00	1,44	хімічна лабораторія, цех фарбування
10 000	2,13	1,66	завод з виготовлення феєрверків або фарб

Таблиця В.2 – Коефіцієнт δ_{pi}

Значення δ_{pi} для заходів активного протипожежного захисту								
Автоматичне пожежогасіння		Автоматична пожежна сигналізація			Ручне пожежогасіння			
Автоматична система водяного пожежогасіння	Незалежне водопостачання	Автоматична пожежна сигналізація виявлення		Автоматичне оповіщення про небезпеку до пожежної охорони	Робота пожежно-рятувального підрозділу	Безпечний шлях доступу	Протипожежні пристрої	Система димовидалення
δ_{n1}	δ_{n2}	Підвищення температури	Диму	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}
0,61	0,87	δ_{n3}	δ_{n4}	0,87	0,61 або 0,78	0,9 або 1 або 0,5	1,0 або 1,5	1,0 або 1,5

В.1.3 У разі відсутності протипожежних заходів значення δ_{pi} дорівнюють 1,5.

В.1.4 Якщо сходові клітини обладнані системою створення різниці тисків, значення коефіцієнту δ_{n8} згідно з Таблицею В.2 можна приймати 0,9.

В.1.5 Зазначений підхід ґрунтується на припущенні, що вимоги відповідних національних стандартів на автоматичні системи пожежогасіння, автоматичну пожежну сигналізацію та системи видалення диму дотримані.

В.2 Визначення питомого пожежного навантаження

В.2.1 Загальні положення

В.2.1.1 Пожежне навантаження включає весь горючий вміст будівлі та відповідні горючі частини конструктивної системи, враховуючи облицювання та опорядження.

В.2.1.2 Для визначення питомого пожежного навантаження застосовують один із таких способів:

- за пожежним навантаженням, визначеним для типових приміщень (див. В.2.5);
- індивідуальна оцінка пожежного навантаження (див. В.2.6).

В.2.1.3 Якщо питоме пожежне навантаження визначають для типових приміщень, то його розрізняють як:

- пожежне навантаження, яке встановлене для типових приміщень;
- пожежне навантаження в будівлі (конструкції, облицювання та опорядження), що, зазвичай, не входить до типових приміщень та буде визначено відповідно до положень, наведених у наступних пунктах.

В.2.2 Визначення

В.2.2.1 Пожежне навантаження визначають за формулою:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \sum Q_{fi,k,i}, \quad (B.2)$$

де $M_{k,i}$ – кількість горючого матеріалу, кг;

H_{ui} – нижча теплота згоряння, МДж/кг, див. В.2.4;

Ψ_i – додатковий коефіцієнт для оцінки захищених пожежних навантажень, див. В.2.3.

В.2.2.2 Питоме пожежне навантаження $q_{f,k}$ визначають за формулою:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k}/A, \quad (B.3)$$

де A – площа протипожежного відсіку (A_f) або базового простору, або площа внутрішньої поверхні протипожежного відсіку (A_t), що визначають $q_{f,k}$ чи $q_{t,k}$ відповідно.

В.2.2.3 Постійні пожежні навантаження, які вважають незмінними протягом строку експлуатації будівлі, представляють їх очікуваними значеннями, що отримані за результатами обстеження.

В.2.2.4 Тимчасові пожежні навантаження, які можуть змінюватися протягом строку експлуатації будівлі, представляють їх очікуваними значеннями, що не будуть перевищені протягом 80 % цього строку.

В.2.3 Захищені пожежні навантаження

В.2.3.1 Пожежні навантаження приміщень, які запроектовані так, щоб витримати пожежу, не розглядаються.

В.2.3.2 В негорючих частинах будинків, без особливих вимог з вогнестійкості, які залишаються неушкодженими під час вогневого впливу, пожежне навантаження враховують таким чином.

Найбільше пожежне навантаження, але щонайменше 10 % від захищених пожежних навантажень, враховують з коефіцієнтом $\Psi_i=1,0$.

Якщо даного пожежного навантаження разом з незахищеними пожежними навантаженнями недостатньо, щоб нагрівати решту захищених пожежних навантажень вище температури займання, тоді для решти захищених пожежних навантажень можна вводити коефіцієнт $\Psi_i=0,0$.

В.2.4 Нижча теплота згоряння

В.2.4.1 Нижчу теплоту згоряння визначають згідно з [9].

В.2.4.2 Вологість матеріалів враховують в розрахунках таким чином:

$$H_u = H_{u0}(1 - 0,01u) - 0,025u, \quad (\text{В.4})$$

де u – вологість, %;

H_{u0} – нижча теплота згоряння сухих матеріалів, МДж/кг.

В.2.4.3 Нижча теплота згоряння деяких твердих, рідких матеріалів та газів наведено в Таблиці В.3.

Таблиця В.3 – Нижча теплота згоряння H_u (МДж/кг) горючих матеріалів для розрахунку пожежного навантаження

Тверді матеріали	
Деревина	17,5
Інші целюлозні матеріали: - одяг; - корок; - бавовна; - папір, картон; - шовк; - солома; - шерсть, вовна	20
Вуглецеві: - антрацит; - деревне вугілля; - кам'яне вугілля	30
Хімічні речовини	
Парафіновий ряд: - метан; - етан; - пропан; - бутан	50
Олефіновий ряд: - етилен; - пропілен; - бутен	45
Ароматичний ряд:	40

- бензол; - толуол	
Спирти: - метанол; - етанол; - етиловий спирт	30
Пальне: - бензин, нафта; - дизельне паливо	45
Вуглеводневі пластмаси без домішок: - поліетилен; - полістирол; - поліпропілен	40
Інші матеріали	
ABS (пластмаса)	35
Поліестер (пластмаса)	30
Поліізоціанурит та поліуретан (пластмаса)	25
Полівінілхлорид, ПВХ (пластмаса)	20
Бітум, асфальт	40
Шкіра	20
Лінолеум	20
Шинний каучук	30
Примітка. Значення, що наведені в цій таблиці, не застосовують при обчисленні вмісту енергії палива.	

В.2.5 Пожежне навантаження для типових приміщень

В.2.5.1 Значення питомого пожежного навантаження $q_{f,k}$ (МДж/м²) залежно від призначення приміщення наведено в Таблиці В.4.

Таблиця В.4 – Питоме пожежне навантаження $q_{f,k}$ (МДж/м²) для типових приміщень

Приміщення	Середнє значення	80 % квантиль
Житлове	780	948
Лікарняна палата	230	280
Готельний номер	310	377
Бібліотека	1500	1824
Офіс	420	511
Класна кімната в школі	285	347
Торгівельний центр	600	730
Театр (кіно)	300	365
Транспорт (громадське приміщення)	100	122
Примітка. Розподіл Гумбеля приймається для 80 % квантиля.		

В.2.5.2 Значення питомого пожежного навантаження $q_{f,k}$, що наведені в Таблиці В.4, дійсні, якщо $\delta_{q2}=1,0$ (див. Таблицю В.1).

В.2.5.3 Пожежні навантаження в Таблиці В.4 дійсні для звичайних відсіків, що пов'язані зі вказаними тут приміщеннями. Спеціальні приміщення розглядаються відповідно до В.2.2.

В.2.5.4 Пожежні навантаження від будівель (конструкції, облицювання та опорядження) визначають згідно з В.2.2. Цими пожежними навантаженнями, у разі потреби, доповнюють значення, що наведені в Таблиці В.4.

В.2.6 Індивідуальна оцінка питомого пожежного навантаження

В.2.6.1 Для індивідуального проекту питоме пожежне навантаження може бути визначене через обстеження пожежного навантаження в приміщеннях.

В.2.6.2 Пожежні навантаження та місця їх розташування оцінюють залежно від призначення приміщень, наявності меблів та їх розташування, змін у часі та можливих змін призначення приміщення.

В.2.6.3 Якщо це можливо, оцінюють схожий існуючий проект таким чином, щоб були обумовлені можливі відмінності між запланованим та існуючим проектами.

В.3 Процес горіння

В.3.1 Процес горіння розглядають залежно від призначення приміщення та типу пожежного навантаження.

В.3.2 Для більшості целюлозних матеріалів коефіцієнт повноти згоряння приймається $m = 0,8$.

В.4 Швидкість тепловиділення

В.4.1 Час настання фази розвинутої пожежі визнають за формулою:

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (\text{В.5})$$

де Q – швидкість тепловиділення, Вт;

t – час, с;

t_α – час, необхідний для досягнення швидкості тепловиділення 1 МВт, с.

В.4.2 Параметр t_α та максимальна швидкість тепловиділення RHR_f для різних приміщень наведені в Таблиці В.5.

Таблиця В.5 – Швидкість розвитку пожежі та RHR_f для різних приміщень

Максимальна швидкість тепловиділення RHR_f			
Приміщення	Швидкість розвитку пожежі	t_a [с]	RHR_f [кВт/м ²]
Житлове	Середня	300	250
Лікарняна палата	Середня	300	250
Готельний номер	Середня	300	250
Бібліотека	Висока	150	500
Офіс	Середня	300	250
Класна кімната в школі	Середня	300	250
Торговий центр	Висока	150	250
Театр (кіно)	Висока	150	500
Транспорт (місця громадського призначення)	Низька	600	250

В.4.3 Значення швидкості розвитку пожежі та RHR_f за Таблицею В.5 використовують, якщо коефіцієнт $\delta_{q2} = 1,0$ (див. Таблицю В.1).

В.4.4 Для надшвидкого розвитку пожежі t_a становить 75 с.

В.4.5 Фаза розвинутої пожежі обмежена горизонтальною ділянкою, що відповідає стаціонарному стану та значенню Q , яке визначається за формулою:

$$Q = RHR_f A_{fi}, \quad (\text{В.6})$$

A_{fi} – максимальна площа пожежі, м², яка дорівнює площі протипожежного відсіку з рівномірно розподіленим пожежним навантаженням, але яка може бути менша у разі локальної пожежі;

RHR_f – максимальна швидкість тепловиділення при пожежі площею 1 м², яка регулюється пожежним навантаженням, кВт/м² (див. Таблицю В.5).

В.4.6 Горизонтальна ділянка обмежена фазою загасання, яка починається, коли 70 % загального пожежного навантаження вигоріло.

В.4.7 Фаза загасання може розглядатися як лінійна, що зменшується, починаючи з моменту, коли вигоріло 70 % пожежного навантаження, і завершується, коли пожежне навантаження вигоріло повністю.

В.4.8 Для пожеж, які регулюються вентиляцією, рівень горизонтальної ділянки може бути зменшено, виходячи із наявного вмісту кисню. Цей рівень визначається при використанні обчислювальної програми, що базується на однозонній моделі, або за формулою:

$$Q_{\max} = 0,10 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{\text{eq}}}, \quad (\text{В.7})$$

де A_v – площа прорізу, м^2 ;

h_{eq} – середнє значення висоти прорізів, м;

H_u – нижча теплота згоряння деревини $H_u = 17,5$ МДж/кг;

m – коефіцієнт повноти згоряння, $m = 0,8$.

В.4.9 Якщо для пожеж, які регулюються вентиляцією, максимальний рівень швидкості тепловиділення зменшено, то крива швидкості тепловиділення подовжується відповідно до можливої енергії, виділяємої пожежним навантаженням. Якщо крива не подовжується, то припускається наявність пожежі поза протипожежного відсіку, яка є причиною зниження температури газового середовища у відсіку.

ДОДАТОК Г
(довідковий)

ПАРАМЕТРИЧНІ ТЕМПЕРАТУРНІ РЕЖИМИ

Г.1 Наведені температурні режими придатні для протипожежних відсіків площею до 500 м², без прорізів у покритті та максимальної висоти відсіку 4 м. Передбачається, що пожежне навантаження відсіку згоряє повністю.

Г.2 Якщо питоме пожежне навантаження визначено без спеціального розгляду процесу горіння (дивись додаток В), то це припущення стосується лише протипожежних відсіків з переважно целюлозним типом пожежного навантаження.

Г.3 Температурні режими у фазі нагрівання визначають за формулою:

$$\Theta_g = 20 + 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}), \quad (\text{Г.1})$$

де Θ_g – температура газового середовища у протипожежному відсіку, °С;

$$t^* = t \cdot \Gamma, \quad (\text{Г.2})$$

де t – час, год;

$$\Gamma = (O/b)^2 / (0,04/1\ 160)^2, \quad (\text{Г.3})$$

де $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ в таких межах: $100 \leq b \leq 2200$ Дж/(м²·с^{1/2}·К);

ρ – густина поверхневого шару огорожувальних конструкцій протипожежного відсіку, кг/м³;

c – питома теплоємність поверхневого шару огорожувальних конструкцій протипожежного відсіку, Дж/(кг К);

λ – теплопровідність поверхневого шару огорожувальних конструкцій протипожежного відсіку, Вт/(м К);

O – коефіцієнт врахування прорізів, м^{1/2};

$$O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t, \quad (\text{Г.4})$$

в таких межах: $0,02 \leq O \leq 0,2$;

A_v – загальна площа вертикальних прорізів у всіх стінах, м²;

h_{eq} – середнє арифметичне значення висоти вікна в усіх стінах, м;

A_t – загальна площа поверхні огорожувальних конструкцій (стіни, підлога і стеля, включно з прорізами), м²;

Якщо $\Gamma=1$, формула (Г.1) наближається до стандартного температурного режиму.

Г.4 Для розрахунку коефіцієнта b значення густини ρ , питомої теплоємності c та теплопровідності λ поверхневого шару огорожувальних конструкцій можуть бути прийняті за температури навколишнього середовища.

Г.5 Для огорожувальних конструкцій, що складаються з декількох шарів із різних матеріалів, коефіцієнт b визначають таким чином:

$$\text{— якщо } b_1 < b_2, \text{ то } b = b_1 \quad (\text{Г.5})$$

— якщо $b_1 > b_2$, то для незахищеного матеріалу (шару, що безпосередньо піддається вогневому впливу) граничну товщину s_{lim} (м) розраховують за формулою:

$$s_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{3600 t_{\text{max}} \lambda}{c_1 \rho_1}}, \quad (\text{Г.6})$$

де t_{max} — час, визначений за формулою (Г.11), год.

$$\text{Якщо } s_{1\text{м}} > s_{\text{lim}}, \text{ то } b = b_1. \quad (\text{Г.7})$$

$$\text{Якщо } s_1 < s_{\text{lim}}, \text{ то } b = \frac{s_1}{s_{\text{lim}}} b_1 + (1 - \frac{s_1}{s_{\text{lim}}}) b_2, \quad (\text{Г.8})$$

де індекс 1 позначає шар, що безпосередньо зазнає вогневого впливу, індекс 2 позначає наступний шар;

s_i — товщина i -го шару;

$$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)},$$

де ρ_i — густина i -го шару;

c_i — питома теплоємність i -го шару;

λ_i — теплопровідність i -го шару.

Г.6 Для врахування різних значень коефіцієнта b для стін, стелі та підлоги, величину b визначають за формулою:

$$b = [\Sigma(b_j A_j)] / (A_t - A_v), \quad (\text{Г.9})$$

де A_j — площа j -ї поверхні огорожувальної конструкції, прорізи не враховано, м^2 ;

b_j — коефіцієнт j -ї поверхні огорожувальної конструкції, визначений за формулами (Г.5), (Г.7), (Г.8).

Г.7 Максимальна температура $\Theta_{\max}$ у фазі нагрівання настає для $t^*=t^*_{\max}$, (год):

$$t^*_{\max} = t_{\max} \cdot \Gamma, \quad (\text{Г.10})$$

$$\text{де } t_{\max} = \max[(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d}/O); t_{\lim}], \quad (\text{Г.11})$$

де $q_{t,d}$ – розрахункове значення питомого пожежного навантаження відносно до загальної площі поверхні A_t огорожувальних конструкцій, $q_{t,d} = q_{f,d} A_f/A_t$, МДж/м². Дотримуються таких меж $50 \leq q_{t,d} \leq 1000$;

$q_{f,d}$ – розрахункове значення питомого пожежного навантаження відносно до площі поверхні підлоги A_f , МДж/м² (додаток В);

$t_{\lim}$ – час, год.

Для повільного розвитку пожежі $t_{\lim} = 25$ хв; для середнього розвитку пожежі $t_{\lim} = 20$ хв; для швидкого розвитку пожежі $t_{\lim} = 15$ хв. Інформацією щодо швидкості розвитку пожежі наведено в Таблиці В.5 додатку В.

Примітка. Час $t_{\max}$, що відповідає максимальній температурі у протипожежному відсіку, для пожежі, яка регулюється пожежним навантаженням, задають таким, що дорівнює $t_{\lim}$. Пожежа регулюється вентиляцією, якщо $t_{\lim} = (0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d}/O)$.

Г.8 Якщо $t_{\max} = t_{\lim}$, то t^* , що використаний у (Г.1), замінюють виразом:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{\lim}, \text{ год} \quad (\text{Г.12})$$

$$\text{де } \Gamma_{\lim} = [O_{\lim}/b]^2 / (0,04/1160)^2, \quad (\text{Г.13})$$

$$\text{де } O_{\lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} q_{t,d}/t_{\lim}, \quad (\text{Г.14})$$

Г.9 Якщо ($O > 0,04$, $q_{t,d} < 75$ та $b < 1160$), то значення $\Gamma_{\lim}$ у формулі (Г.13) множать на коефіцієнт k , що визначають за формулою:

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1160 - b}{1160} \right), \quad (\text{Г.15})$$

Г.10 Температурні режими у фазі загасання мають такий вигляд:

$$\text{– для } t^*_{\max} \leq 0,5: \quad \Theta_g = \Theta_{\max} - 625(t^* - t^*_{\max} \cdot x), \quad (\text{Г.16})$$

$$\text{– для } 0,5 < t^*_{\max} < 2: \quad \Theta_g = \Theta_{\max} - 250(3 - t^*_{\max} \cdot x) \cdot (t^* - t^*_{\max} \cdot x), \quad (\text{Г.17})$$

$$\text{– для } t^*_{\max} \geq 2: \quad \Theta_g = \Theta_{\max} - 250(t^* - t^*_{\max} \cdot x), \quad (\text{Г.18})$$

де t^* – визначають за формулою (Г.2)

$$t^*_{\max} = (0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d}/O) \cdot \Gamma, \quad (\text{Г.19})$$

Якщо $t_{\max} > t_{\lim}$, то приймають, що $x = 1,0$.

Якщо $t_{\max} = t_{\lim}$, то приймають $x = t_{\lim} \cdot \Gamma / t^*_{\max}$.

ДОДАТОК Д

(довідковий)

ТЕПЛОВІ ВПЛИВИ НА ЗОВНІШНІ КОНСТРУКЦІЇ – СПРОЩЕНИЙ МЕТОД
РОЗРАХУНКУ**Д.1 Сфера застосування****Д.1.1** Цей метод дозволяє визначати:

- максимальні температури пожежі у відсіку;
- розмір та температуру полум'я з прорізів;
- параметри випромінювання та конвекції.

Д.1.2 Цей метод розглядає стаціонарні умови для різних параметрів. Метод дійсний лише для пожежного навантаження $q_{f,d}$ більше ніж 200 МДж/м^2 .

Д.2 Умови застосування

Д.2.1 Якщо у відповідному протипожежному відсіку є більше ніж одне вікно, тоді застосовують середнє арифметичне значення висоти вікна h_{eq} , загальну площу вертикальних прорізів A_v та сумарну ширину вікон $w_t = \sum w_i$.

Д.2.2 Якщо вікна є лише в одній стіні, то відношення D/W визначають за такою формулою:

$$D/W = \frac{W_2}{w_t}, \quad (\text{Д.1})$$

Д.2.3 Якщо вікна є більш ніж в одній стіні, то відношення D/W визначають за такою формулою:

$$D/W = \frac{W_2}{W_1} \frac{A_{v1}}{A_v}, \quad (\text{Д.2})$$

де W_1 – ширина стіни № 1 (стіна з вікном найбільшої площі);

A_{v1} – сумарна площа вікон у стіні №1;

W_2 – ширина стіни, перпендикулярної до стіни № 1 у протипожежному відсіку.

Д.2.4 Якщо в протипожежному відсіку є діафрагма жорсткості, то відношення D/W визначають за такою формулою:

$$D/W = \frac{(W_2 - L_c)}{(W_1 - W_c)} \frac{A_{v1}}{A_v}, \quad (\text{Д.3})$$

де L_c і W_c – довжина та ширина діафрагми жорсткості;

W_1 і W_2 – довжина та ширина протипожежного відсіку.

Д.2.5 Всі частини зовнішньої стіни, що не мають вогнестійкості (REI), необхідної для стійкості будинку, класифікують як віконні прорізи.

Д.2.6 Загальна площа вікон у зовнішній стіні це:

- загальна площа з урахуванням Д.2.5, якщо вона становить менше 50 % площі відповідної зовнішньої стіни відсіку;

- по-перше, загальна площа та, по-друге, 50 % площі відповідної зовнішньої стіни відсіку, якщо з урахуванням Д.2.5 ця площа становить більше 50 %. Для розрахунку розглядають обидві ситуації. Якщо використовується 50 % площі зовнішньої стіни – положення та геометрія відкритих поверхонь обирають таким чином, щоб розглядався найбільш складний випадок.

Д.2.7 Розміри протипожежного відсіку не можуть перевищувати 70 м завдовжки, 18 м завширшки та 5 м заввишки.

Д.2.8 Температуру полум'я приймають рівномірною за шириною та довжиною полум'я.

Д.3 Впливи вітру

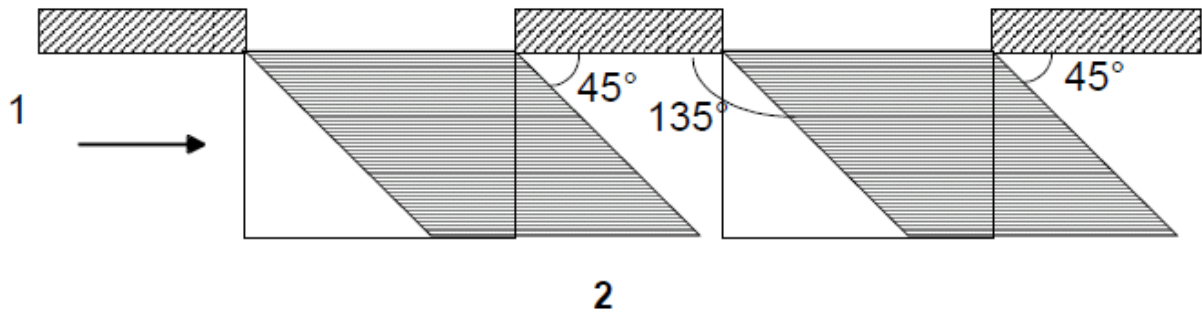
Д.3.1 Режим вентиляції

Д.3.1.1 Якщо у протилежних стінах протипожежного відсіку є вікна або існує додаткове джерело надходження повітря до пожежі (не вікна), розрахунок виконують за умови примусової (штучної) тяги повітря. В іншому випадку розрахунок виконують без умов примусової тяги.

Д.3.2 Відхилення полум'я внаслідок впливу вітру

Д.3.2.1 Передбачається, що полум'я поширюється з протипожежного відсіку крізь прорізи (див. рисунок Д.1):

- перпендикулярно до фасаду;
- з відхиленням на 45° внаслідок впливу вітру.



1 Вітер

2 Горизонтальний поперечний переріз

Рисунок Д.1 – Відхилення полум'я внаслідок впливу вітру

Д.4 Характеристики пожежі та полум'я

Д.4.1 Природна вентиляція

Д.4.1.1 Швидкість горіння або тепловиділення Q (МВт) визначають за формулою:

$$Q = \min \left((A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_F; 3,15 (1 - e^{-0,036/O}) A_v \left(\frac{h_{eq}}{D/W} \right)^{1/2} \right), \quad (Д.4)$$

Д.4.1.2 Температуру у протипожежному відсіку визначають за формулою:

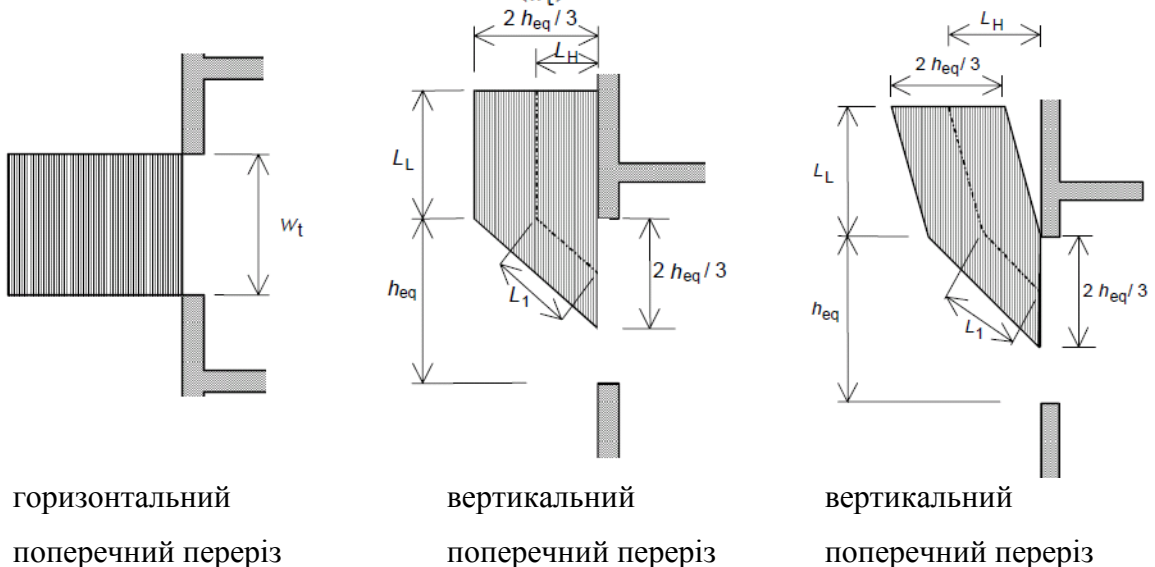
$$T_f = 6000(1 - e^{-0,1/O}) O^{1/2} (1 - e^{-0,00286Q}) + T_0, \quad (Д.5)$$

Д.4.1.3 Висоту полум'я (див. рисунок Д.2) визначають за формулою:

$$L_L = \max \left(0; h_{eq} \left(2,37 \left(\frac{Q}{A_v \rho_g (h_{eq} g)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right) \right), \quad (Д.6)$$

приймавши $\rho_g = 0,45 \text{ кг/м}^3$ та $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, ця формула може бути спрощена:

$$L_L = 1,9 \left(\frac{Q}{w_t} \right)^{2/3} - h_{eq}, \quad (Д.7)$$



$L_L = \frac{h_{eq}}{3} \Rightarrow$	$L_L = \sqrt{L_H^2 + \frac{h_{eq}^2}{9}} \cong \frac{h_{eq}}{2}$	$L_L \cong \frac{h_{eq}}{2}$
	$L^f = L^L + L^1$	$L_f = \sqrt{L_L^2 + \left(L_H^2 - \frac{h_{eq}^2}{3}\right)^2} + L_1$
$h_{eq} < 1,25w_t$	є стіна вище	стіни вище немає або $h_{eq} > 1,25w_t$

Рисунок Д.2 – Розміри полум'я (природна вентиляція)

Д.4.1.4 Ширина полум'я дорівнює ширині вікна (див. Рисунок Д.2).

Д.4.1.5 Глибина полум'я становить $2/3$ висоти вікна, тобто $2/3 h_{eq}$ (див. Рисунок Д.2).

Д.4.1.6 Горизонтальна проекція полум'я (від фасаду):

– у разі наявності стіни над вікном L_H визначають за формулами:

– якщо $h_{eq} \leq 1,25w_t$: $L_H = h_{eq}/3$, (Д.8)

– якщо $h_{eq} > 1,25w_t$ та відстань до будь-якого іншого вікна $> 4w_t$:

$$L_H = 0,3h_{eq}(h_{eq}/w_t)^{0,54}, \quad (Д.9)$$

– в інших випадках: $L_H = 0,454h_{eq}(h_{eq}/2w_t)^{0,54}$, (Д.10)

– у разі відсутності стіни над вікном визначають за формулою:

$$L_H = 0,6h_{eq}(L_L/h_{eq})^{1/3}, \quad (Д.11)$$

Д.4.1.7 Довжину полум'я вздовж осі визначають за формулами:

– якщо $L_L > 0$:

- у разі наявності стіни над вікном або $h_{eq} \leq 1,25w_t$

$$L_F = L_L + h_{eq}/2, \quad (Д.12)$$

- у разі відсутності стіни над вікном або $h_{eq} > 1,25w_t$:

$$L_f = (L_L^2 + (L_H - h_{eq}/3)^2)^{1/2} + h_{eq}/2, \quad (Д.13)$$

якщо $L_L = 0$, тоді $L_f = 0$.

Д.4.1.8 Температуру полум'я у вікні визначають за формулою:

$$T_w = 520/[1 - 0,4725(L_f \cdot w_t/Q)] + T_0, \quad (Д.14)$$

де $L_f \cdot w_t/Q < 1$.

Д.4.1.9 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я у вікні допускається приймати $\varepsilon_f = 1,0$.

Д.4.1.10 Температуру полум'я вздовж осі визначають за формулою:

$$T_z = (T_w - T_0)[1 - 0,4725(L_f \cdot w_t / Q)] + T_0, \quad (\text{Д.15})$$

де $L_f \cdot w_t / Q < 1$.

L_x – відстань вздовж осі від вікна до точки, для якої зроблено розрахунок.

Д.4.1.11 Коефіцієнт випромінювання полум'я допускається визначати за формулою:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f}, \quad (\text{Д.16})$$

де d_f – товщина полум'я, м.

Д.4.1.12 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією визначають за формулою:

$$\alpha_c = 4,67(1/d_{eq})^{0,4}(Q/A_v)^{0,6}, \quad (\text{Д.17})$$

Д.4.1.13 Якщо навіс або балкон (з горизонтальною проекцією W_a) знаходиться на рівні верху вікна по всій його ширині (див. рисунок Д.3), то для стіни над вікном та за умови $h_{eq} \leq 1,25w_t$ висоту та горизонтальну проекцію полум'я визначають таким чином:

- висоту полум'я L_L , що розраховано за формулою (Д.6), зменшують на $W_a(1 + \sqrt{2})$;
- горизонтальну проекцію полум'я L_H , що розраховано за формулами (Д.8) – (Д.11), збільшують на W_a .

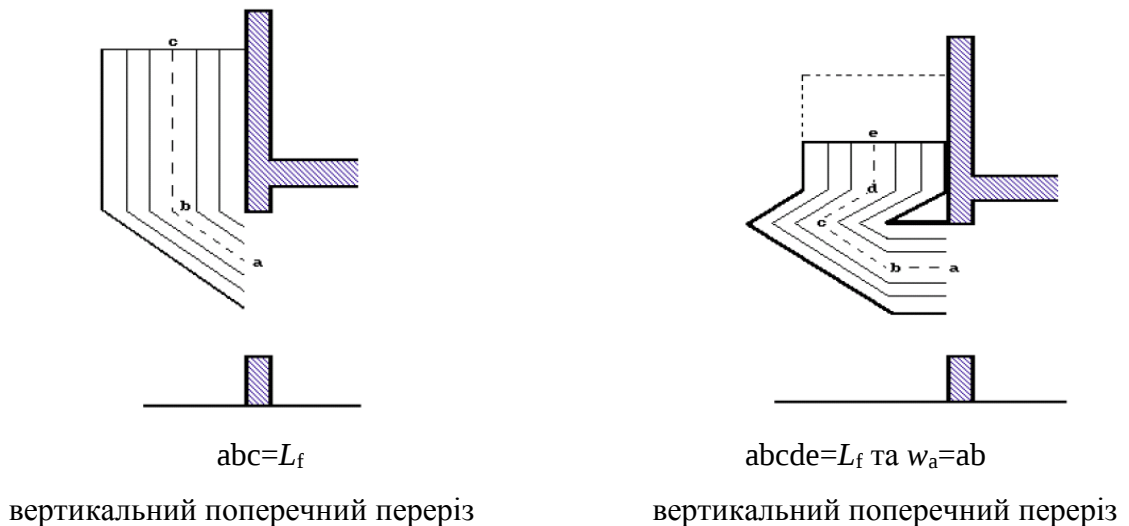


Рисунок Д.3 – Відхилення полум'я через наявність балкону

Д.4.1.14 Для тих самих умов для навісу або балкону за відсутності стіни над вікном або якщо $h_{eq} > 1,25w_t$ висота та горизонтальна проекція полум'я визначається таким чином:

- висоту полум'я L_L , що розраховано за формулою (Д.6), зменшують на W_a ;
- горизонтальну проекцію полум'я L_H , що розраховано за формулами (Д.8) – (Д.11), з урахуванням вищезазначеного значення L_L , збільшують на W_a .

Д.4.2 Примусова вентиляція

Д.4.2.1 Швидкість горіння або тепловиділення Q (МВт) визначають за формулою:

$$Q = (A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_F. \quad (\text{Д.18})$$

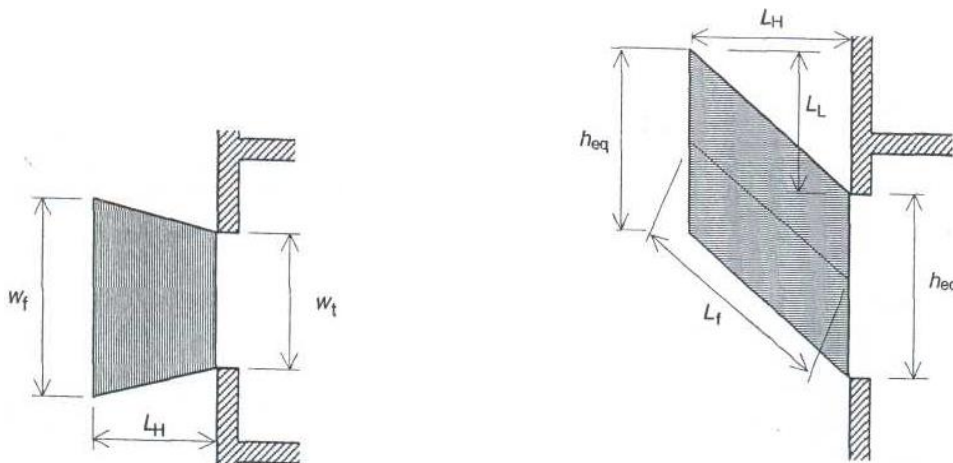
Д.4.2.2 Температуру у протипожежному відсіку визначають за формулою:

$$T_f = 1200((A_f \cdot q_{f,d}) / 17,5 - e^{-0,00228Q}) + T_0. \quad (\text{Д.19})$$

Д.4.2.3 Висоту полум'я (див. рисунок Д.4) визначають за формулою:

$$L_L = \left(1,366 \left(\frac{1}{u} \right)^{0,43} \frac{Q}{A_v^{1/2}} \right) - h_{eq}, \quad (\text{Д.20})$$

Прийнявши $u = 6$ м/с, формулу (Д.20) спрощено: $L_L \approx 0,628Q/A_v^{1/2} - h_{eq}$.



вертикальний поперечний переріз

$$w_f = w_t + 0,4L_H$$

вертикальний поперечний переріз

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2}$$

Рисунок Д.4 – Розміри полум'я (примусова вентиляція)

Д.4.2.4 Горизонтальну проекцію полум'я визначають за формулою:

$$L_H = 0,605(u^2/h_{eq})^{0,22}(L_L + h_{eq}), \quad (\text{Д.21})$$

Прийнявши $u = 6$ м/с, формулу (Д.21) спрощено: $L_H = 1,33(L_L + h_{eq})/h_{eq}^{0,22}$.

Д.4.2.5 Ширину полум'я визначають за формулою:

$$w_f = w_t + 0,4L_H, \quad (\text{Д.22})$$

Д.4.2.6 Довжину полум'я вздовж осі визначають за формулою:

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2}, \quad (\text{Д.23})$$

Д.4.2.7 Температуру полум'я у вікні визначають за формулою:

$$T_w = 520 / (1 - 0,3325 L_f (A_v)^{1/2} / Q) + T_0, \quad (\text{Д.24})$$

де $L_f \cdot A_v^{1/2} / Q < 1$.

Д.4.2.8 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я у вікні допускається приймати $\varepsilon_f = 1,0$.

Д.4.2.9 Температуру полум'я вздовж осі визначають за формулою:

$$T_z = \left(1 - 0,3325 \frac{L_x (A_v)^{1/2}}{Q} \right) (T_w - T_0) + T_0, \text{ К} \quad (\text{Д.25})$$

де L_x – відстань вздовж осі від вікна до точки, для якої зроблено розрахунок.

Д.4.2.10 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я допускається визначати за формулою:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f}, \quad (\text{Д.26})$$

де d_f – товщина полум'я, м.

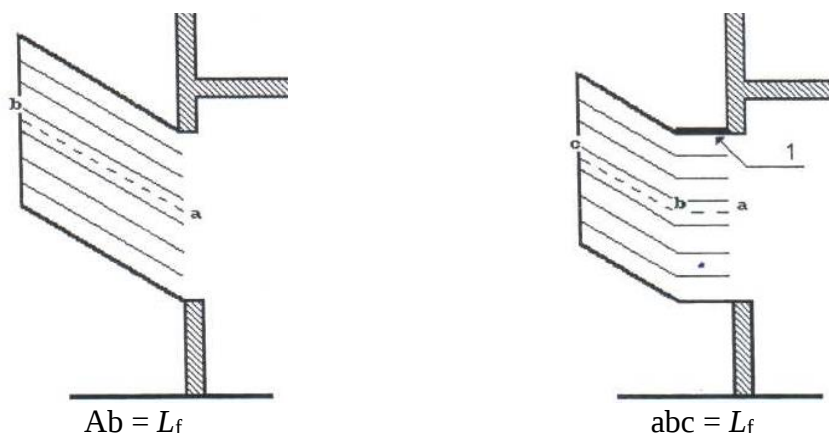
Д.4.2.11 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією визначають за формулою:

$$\alpha_c = 9,8(1/d_{eq})^{0,4}(Q/17,5A_v + u/1,6)^{0,6}, \quad (\text{Д.27})$$

Прийнявши $u = 6$ м/с, коефіцієнт тепловіддачі конвекцією визначають за формулою:

$$\alpha_c = 9,8(1/d_{eq})^{0,4}(Q/17,5A_v + 3,75)^{0,6}. \quad (\text{Д.28})$$

Д.4.2.12 Щодо впливу балконів або навісів, то траєкторія полум'я після горизонтального відхилення балконом або навісом є такою, як вказано на рисунку Д.5, тобто зміщена в зовнішній бік на довжину навісу, але довжина полум'я L_f не змінюється.



1 – навіс

вертикальний поперечний

переріз

вертикальний поперечний переріз

Рисунок Д.5 – Відхилення полум'я через наявність навісу

Д.5 Результівні кутові коефіцієнти

Д.5.1 Результівний кутовий коефіцієнт Φ_f конструкції для радіаційного теплообміну крізь прорізи визначають за формулою:

$$\Phi_f = \frac{(C_1\Phi_{f,1} + C_2\Phi_{f,2})d_1 + (C_3\Phi_{f,3} + C_4\Phi_{f,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2}, \quad (\text{Д.29})$$

де $\Phi_{f,i}$ – кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для цього прорізу згідно з додатком Б;

d_i – розмір перерізу i -ї поверхні конструкції;

C_i – коефіцієнт захищеності i -ї поверхні конструкції.

Для захищеної поверхні $C_i = 0$, для незахищеної поверхні $C_i = 1$.

Д.5.2 Кутовий коефіцієнт $\Phi_{f,i}$ для поверхні конструкції, з якої проріз не видно, дорівнює нулю.

Д.5.3 Кутовий коефіцієнт Φ_z конструкції для променевого теплообміну від полум'я визначають за формулою:

$$\Phi_z = \frac{(C_1\Phi_{z,1} + C_2\Phi_{z,2})d_1 + (C_3\Phi_{z,3} + C_4\Phi_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2}, \quad (\text{Д.30})$$

де $\Phi_{z,i}$ – кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для полум'я згідно з додатком Б.

Д.5.4 Визначення кутового коефіцієнта $\Phi_{z,i}$ поверхонь конструкцій для радіаційного теплообміну від полум'я базується на еквівалентних прямокутних розмірах полум'я. Розміри і положення еквівалентних прямокутників, що відображають фронтальну поверхню і боки полум'я, визначаються згідно з додатком Б. Для всіх інших випадків використовують розміри полум'я згідно з Д.4 цього додатку.

ДОДАТОК Е (довідковий)

ЛОКАЛЬНІ ПОЖЕЖІ

Е.1 Тепловий вплив локальної пожежі можна оцінити за формулами, що наведені в цьому додатку.

Е.2 Тепловий потік від локальної пожежі до конструкції визначають за формулою (4), базуючись на кутовому коефіцієнті, розрахованому згідно з додатком Б.

Е.3 Довжину полум'я L_f (м) локальної пожежі (див. рисунок Е.1) визначають за формулою:

$$L_f = -1,02D + 0,0148Q^{2/5}. \quad (\text{Е.1})$$

Е.4 Якщо полум'я не торкається стелі відсіку ($L_f < H$; див. рисунок Е.1) або у разі пожежі на відкритому повітрі, температуру $\Theta_{(z)}$ полум'я вздовж симетричної вертикальної осі полум'я визначають за формулою:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25Q_c^{2/3}(z-z_0)^{-5/3} \leq 900 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (\text{Е.2})$$

де D – діаметр полум'я (див. рисунок Е.1), м;

Q – швидкість тепловиділення, визначена з Д.4, Вт;

Q_c – конвективна складова швидкості тепловиділення, Вт;

z – висота вздовж осі полум'я (див. рисунок Е.1), м;

H – відстань від вогнища пожежі до стелі (див. рисунок Е.1), м.

Значення конвективної складової швидкості тепловиділення складає $Q_c = 0,8Q$, якщо відсутнє обґрунтування іншої величини.

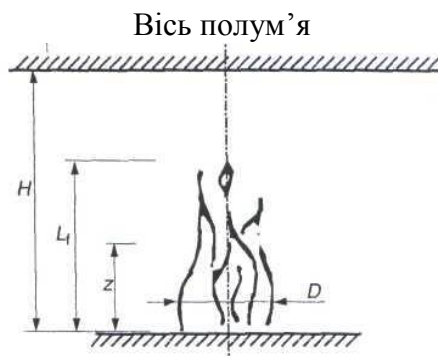


Рисунок Е.1 – Геометричні параметри полум'я, яке не торкається стелі відсіку

Е.5 Умовний початок координат z_0 (м) осі визначають за формулою:

$$z_0 = -1,02D + 0,00524Q^{2/5}, \text{ м.} \quad (\text{Е.3})$$

Е.6 Якщо полум'я торкається стелі ($L_f \geq H$, див. рисунок Е.2), то тепловий потік $\dot{h}$ (Вт/м²) від полум'я до поверхні конструкції на рівні стелі становить:

$$- \text{якщо } y \leq 0,30: \quad \dot{h} = 100000 \quad (\text{Е.4})$$

$$- \text{якщо } 0,30 < y < 1,0: \quad \dot{h} = 121000y \dots 136300y; \quad (\text{Е.5})$$

$$- \text{якщо } y \geq 1,0: \quad \dot{h} = 15000y^{3,7}, \quad (\text{Е.5})$$

де y – коефіцієнт, що визначають за формулою:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'}; \quad (\text{Е.7})$$

r – горизонтальна відстань (м) між вертикальною віссю полум'я та точкою на стелі, для якої розраховують тепловий потік (див. рисунок Е.2);

H – відстань (м) від вогнища пожежі до стелі (див. рисунок Е.2).

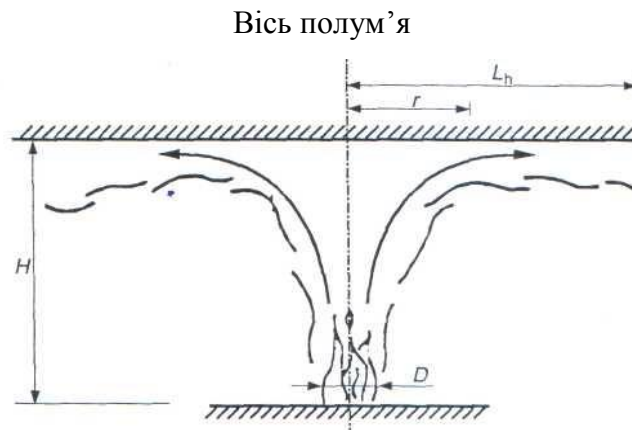


Рисунок Е.2 – Геометричні параметри полум'я, яке торкається стелі відсіку

Е.7 Горизонтальну довжину полум'я L_h (м) (див. рисунок Е.2) визначають за формулою:

$$L_h = (2,9H(Q^*_H)^{0,33}) - H. \quad (\text{Е.8})$$

Е.8 Швидкість тепловиділення Q^*_H визначають за формулою:

$$Q^*_H = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}). \quad (\text{Е.9})$$

Е.9 Вертикальне положення умовного вогнища пожежі z' (м), визначають за формулами:

$$- \text{якщо якщо } Q^*_D < 10: \quad z' = 2,4D(Q^{*2/5}_D - Q^{*2/3}_D); \quad (\text{Е.10})$$

$$- \text{якщо якщо } Q^*_D \geq 1,0: \quad z' = 2,4D(1,0 - Q^{*2/5}_D), \quad (\text{Е.11})$$

$$\text{де} \quad Q^*_D = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}). \quad (\text{Е.12})$$

Е.10 Результівний тепловий потік $\dot{h}_{\text{net}}$ на поверхні конструкції на рівні стелі визначають за формулою:

$$\dot{h}_{\text{net}} = \dot{h} - \alpha_c \cdot (\Theta_{\text{m}} - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_{\text{m}} \cdot \varepsilon_{\text{f}} \cdot \sigma \cdot [(\Theta_{\text{m}} + 273)^4 - 293^4]. \quad (\text{E.13})$$

Е.11 Формули (Е.1) – (Е.13) діють лише за таких умов:

- діаметр полум'я $D \leq 10$ м;
- швидкість тепловиділення при пожежі $Q \leq 50$ МВт.

Е.12 За наявності декількох окремих локальних пожеж формули (Е.4) - (Е.6) можна використовувати для отримання різних значень теплових потоків $\dot{h}_1, \dot{h}_2 \dots$ на поверхні конструкції на рівні стелі.

Загальний тепловий потік $\dot{h}_{\text{tot}}$ визначають за формулою:

$$\dot{h}_{\text{tot}} = \dot{h}_1 + \dot{h}_2 \dots \leq 100 \text{ кВт/м}^2 \quad (\text{E.14}).$$

ДОДАТОК Ж (довідковий)

УТОЧНЕНІ МОДЕЛІ ПОЖЕЖІ

Ж.1 Однозонні моделі

Ж.1.1 Однозонну модель застосовують для умов, які настають після загального спалаху. Для протипожежного відсіку приймають однорідними температуру, густину, внутрішню енергію та тиск газу.

Ж.1.2 Температуру газового середовища обчислюють, враховуючи:

- розв’язання рівнянь збереження маси та енергії;
- масообмін між внутрішнім газовим середовищем, зовнішнім газовим середовищем (крізь прорізи) та вогнищем пожежі;
- енергообмін між вогнищем пожежі, внутрішнім газовим середовищем, стінами та прорізами.

Ж.1.3 Рівняння стану ідеального газу розглядають як:

$$P_{\text{int}} = \rho_g R T_g; \quad (\text{Ж.1})$$

Ж.1.4 Баланс маси газів в протипожежному відсіку визначають за формулою:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} + \dot{m}_{\text{fi}}, \quad (\text{Ж.2})$$

де P_{int} – статичний тиск газу, Н/м²;

$\frac{dm}{dt}$ – швидкість газообміну у протипожежному відсіку, кг/с;

$\dot{m}_{\text{out}}$ – швидкість газу, що виходить з протипожежного відсіку крізь прорізи, кг/с;

$\dot{m}_{\text{in}}$ – швидкість газу, що входить у протипожежний відсік крізь прорізи, кг/с;

$\dot{m}_{\text{fi}}$ – масова швидкість вигорання пожежного навантаження.

Ж.1.5 Швидкостями газообміну та вигорання можна знехтувати. Тоді із (Ж.2):

$$\dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{out}}. \quad (\text{Ж.3})$$

Ці масові потоки можуть бути розраховані на основі статичного тиску через різницю густини повітрі за температури навколишнього середовища і високих температурах, відповідно.

Ж.1.6 Енергетичний баланс газів у протипожежному відсіку визначають за формулою:

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{out} + Q_{in} - Q_{wall} - Q_{rad}, \quad (\text{Ж.4})$$

де E_g – внутрішня енергія газу, Дж;

Q – швидкість тепловиділення при пожежі, Вт;

$$Q_{out} = \dot{m}_{out} c T_f;$$

$$Q_{in} = \dot{m}_{in} c T_{amb};$$

$Q_{wall} = (A_t - A_{h,v}) \dot{h}_{net}$ – втрата енергії до огорожувальних конструкцій;

$Q_{rad} = A_{h,v} \sigma T_f^4$ – втрата енергії шляхом випромінювання крізь прорізи,

де c – питома теплоємність, Дж/(кг К);

$\dot{h}_{net}$ – результативний тепловий потік, Вт/м², який визначають за формулою (4);

$\dot{m}$ – швидкість газу, кг/с;

T – температура, К.

Ж.2 Двостонні моделі

Ж.2.1 Двостонна модель базується на припущенні про накопичення продуктів горіння під стелею. Розрізняють верхню та нижню зони, вогнище пожежі, зовнішнє газове середовище.

Ж.2.2 У верхній зоні приймають однорідні характеристики газу.

Ж.2.3 Обмін маси, енергії та хімічної речовини може бути розрахований між цими різними зонами.

Ж.2.4 У протипожежному відсіку з рівномірно розподіленим пожежним навантаженням двостонна модель пожежі може перейти в одностонну модель пожежі за однієї з таких умов:

- якщо температура газу у верхній зоні досягає значення, більшого ніж 500 °С;
- якщо верхня зона збільшується таким чином, що займає 80 % висоти відсіку.

Ж.3 Польові моделі

Ж.3.1 Польові моделі засновані на чисельному розв'язанні диференціальних рівнянь в часткових похідних, що визначають термодинамічні та газодинамічні змінні величини в усіх точках протипожежного відсіку. Ці моделі називають

також моделями термо- та газодинаміки, CFD моделями та моделями термо- та аеродинаміки потоку і вони розраховують системи, враховуючи динаміку потоку, теплообмін та пов'язані з цим явища, через розв'язання фундаментальних рівнянь динаміки потоку. Ці рівняння являють собою математичне формулювання таких фізичних законів:

- збереження маси речовини (газу);
- зміни кількості руху (імпульсу), яка дорівнює сумі сил, які діють на потік речовини (другий закон Ньютона);
- зміни енергії, яка дорівнює сумі зміни теплоти та роботи, яку виконано потоком речовини за одиницю часу (перший закон термодинаміки).

ДОДАТОК И
(обов'язковий)

ДЕФОРМАЦІЙНЕ ЗМІЦНЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ
ЗА ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР

И.1 Для температури нижче 400 °С альтернативна можливість деформаційного зміцнення, що вказана у 6.5.2, може бути використана таким чином:

- для $0,02 < \varepsilon < 0,04$:

$$\sigma_a = 50 (f_{u,\theta} - f_{y,\theta}) \varepsilon + 2f_{y,\theta} - f_{u,\theta}, \quad (\text{И.1})$$

- для $0,04 \leq \varepsilon \leq 0,15$:

$$\sigma_a = f_{u,\theta}, \quad (\text{И.2})$$

- для $0,15 < \varepsilon < 0,20$:

$$\sigma = f_{u,\theta} [1 - 20 (\varepsilon - 0,15)], \quad (\text{И.3})$$

- для $\varepsilon \geq 0,20$:

$$\sigma_a = 0,00, \quad (\text{И.4})$$

де $f_{u,\theta}$ – гранична міцність за підвищеної температури, що враховує деформаційне зміцнення.

Примітка. Альтернативна діаграма “напруження-деформація” для сталі, що враховує деформаційне зміцнення, наведена на рисунку И.1.

И.2 Граничну міцність за підвищеної температури, що враховує деформаційне зміцнення, визначають таким чином:

- для $\theta_a < 300$ °С:

$$f_{u,\theta} = 1,25 f_{y,\theta}, \quad (\text{И.5})$$

- для 300 °С $\leq \theta_a < 400$ °С:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} (2 - 0,0025 \theta_a), \quad (\text{И.6})$$

- для $\theta_a \geq 400$ °С:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}, \quad (\text{И.7})$$

Примітка. Зміна альтернативної діаграми “напруження-деформація” для сталі залежно від температури наведена на рисунку И.2.

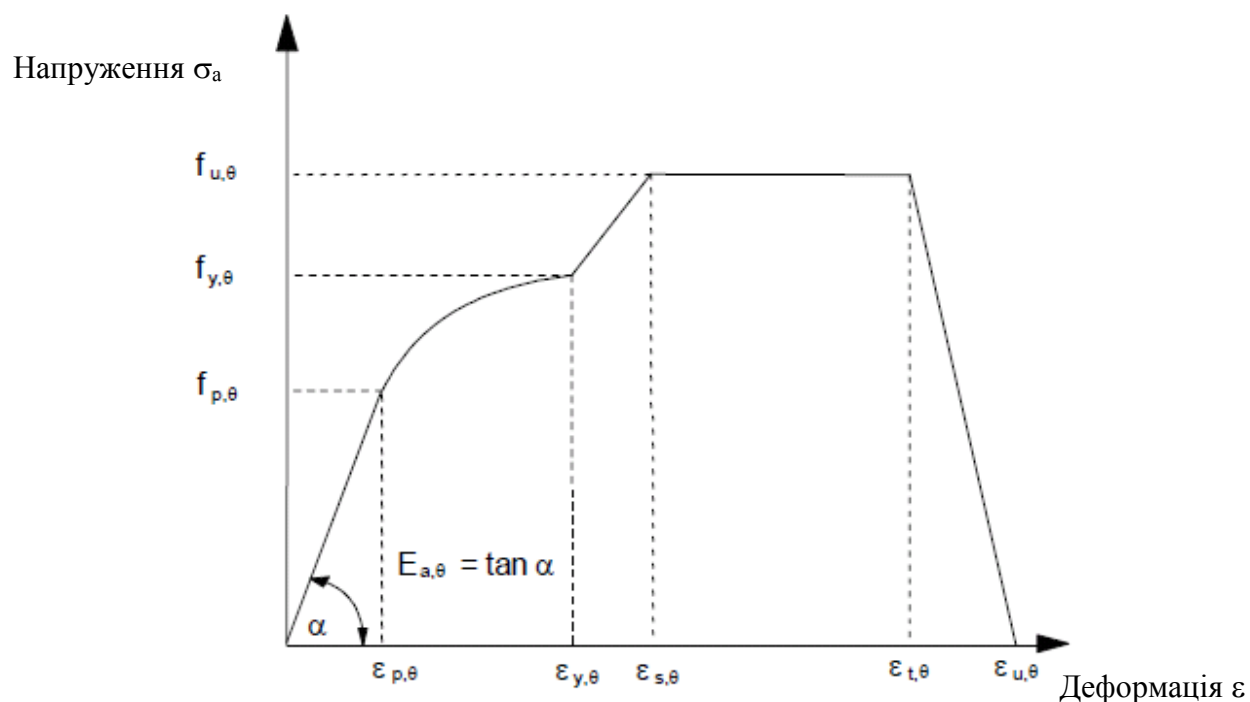


Рисунок И.1 – Альтернативна діаграма “напруження-деформація” для сталі, що враховує деформаційне зміцнення

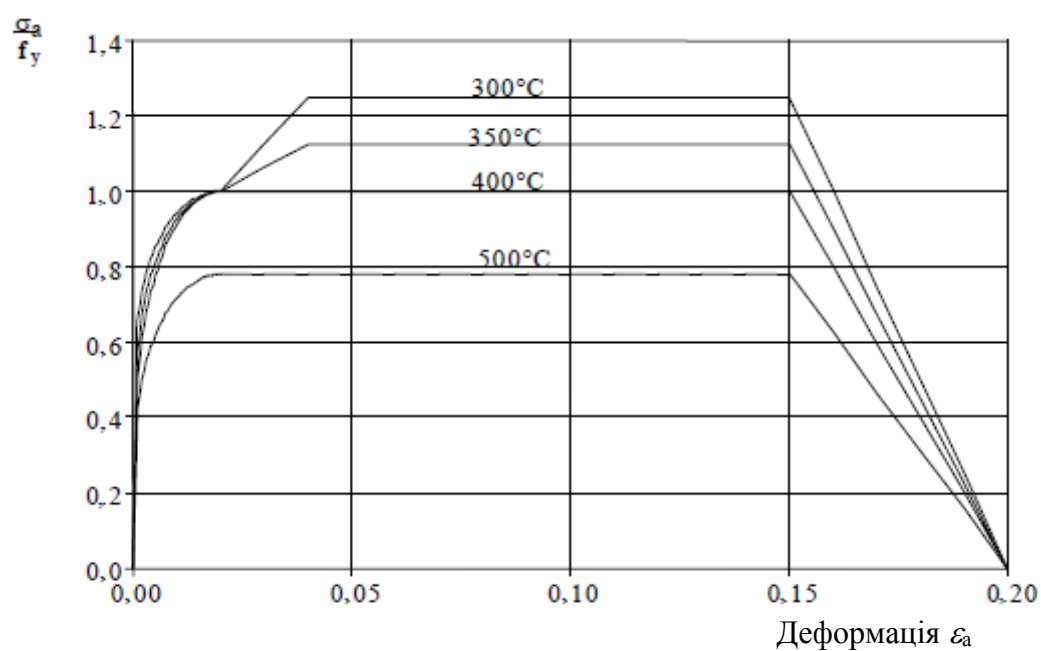


Рисунок И.2 – Альтернативна діаграма “напруження-деформація” для сталі за підвищених температур, що враховує деформаційне зміцнення

ДОДАТОК К

(обов'язковий)

ВОГНЕСТІЙКІСТЬ З'ЄДНАНЬ

К.1 Болтові з'єднання

К.1.1 Руйнування робочого перерізу в отворах для з'єднань не розглядається за умови, що з'єднання є в кожному прорізі, оскільки температура сталі з'єднань нижча через наявність додаткового матеріалу.

К.1.1 Розрахунковий опір болтів на зріз

К.1.1.1 Категорія А: Несучий тип

К.1.1.1.1 Розрахунковий опір болтів під час пожежі, що навантажені поперечною силою, визначають за формулою:

$$F_{v,t,Rd} = F_{v,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (\text{K.1})$$

де $k_{b,\theta}$ – коефіцієнт зниження, що визначений з таблиці К.1 для відповідної температури болта;

$F_{v,Rd}$ – розрахунковий опір на зріз болта на площину зрізу, визначений за умови, що площина зрізу проходить через різьбу болта;

γ_{M2} коефіцієнт надійності для нормальної температури;

$\gamma_{M,fi}$ коефіцієнт надійності для відповідної властивості матеріалу під час пожежі.

К.1.1.1.2 Розрахунковий опір болтів під час пожежі визначають за формулою:

$$F_{b,t,Rd} = F_{b,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (\text{K.2})$$

де $k_{b,\theta}$ – коефіцієнт зниження, що визначений з таблиці К.1 для відповідної температури болта.

К.1.1.2 Категорія В: Опір проковзуванню за умов нормальної експлуатації та Категорія С: Опір проковзуванню за умов настання граничного стану

К.1.1.2.1 З'єднання, які чинять опір проковзуванню, розглядають як такі, що проковзують під час пожежі, а опір одного болта визначають як для несучого типу болта, дивись К.1.1.1.

К.1.2 Розрахунковий опір болтів на розтяг

К.1.2.1 Категорії D та E: Попередньо ненапружувані та попередньо напружувані болти

К.1.2.1.1 Розрахунковий опір на розтяг одного болта під час пожежі визначають за формулою:

$$F_{ten,t,Rd} = F_{t,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,f_i}}, \quad (K.3)$$

де $k_{b,\theta}$ – коефіцієнт зниження, що визначений з таблиці К.1 для відповідної температури болта.

Таблиця К.1 – Коефіцієнт зниження міцності для болтів та зварних швів

Температура, θ_a	Коефіцієнт зниження для болтів, $k_{b,\theta}$ (розтяг та зріз)	Коефіцієнт зниження для зварних швів, $k_{w,\theta}$
20	1,000	1,000
100	0,968	1,000
150	0,952	1,000
200	0,935	1,000
300	0,903	1,000
400	0,775	0,876
500	0,550	0,627
600	0,220	0,378
700	0,100	0,130
800	0,067	0,074
900	0,033	0,018
1000	0,000	0,000

К.2 Розрахунковий опір зварних швів

К.2.1 Зварні з'єднання в стик

К.2.1.1 Розрахункова міцність повністю проплавленого зварного з'єднання в стик для температури до 700 °С дорівнює міцності найслабшої з'єднаної частини, використовуючи відповідні коефіцієнти зниження для конструкційної сталі. Для температури > 700 °С коефіцієнти зниження, наведені для кутових зварних швів, також застосовують для зварних з'єднань в стик.

К.2.2 Кутові зварні шви

К.2.2.1 Розрахунковий опір на одиницю довжини кутового зварного шва під час пожежі визначають за формулою:

$$F_{w,t,Rd} = F_{w,Rd} k_{w,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (K.4)$$

де $k_{w,\theta}$ – визначено з таблиці К.1 для відповідної температури зварного шва.

К.3 Температура з'єднань під час пожежі

К.3.1 Загальні вимоги

К.3.1.1 Температуру з'єднання приймають, використовуючи локальне значення A / V для частин з'єднання.

К.3.1.2 Як спрощення температуру з'єднання приймають рівномірно розподіленою; температуру визначають, використовуючи максимальне значення співвідношення A / V з'єднаних сталевих конструкцій, що розташовані близько до з'єднання.

К.3.1.3 Для з'єднань балки з колоною та балки з балкою, якщо на балки спирається бетонне перекриття будь-якого типу, температуру з'єднання визначають із температури нижньої полиці в середині прольоту.

К.3.1.4 При застосуванні методу з 6.6.2.5 температуру частин з'єднання визначають таким чином:

а) Якщо висота балки менше або дорівнює 400 мм:

$$\theta_h = 0,88\theta_o [1 - 0,3(h/D)], \quad (K.5)$$

де θ_h температура по висоті h (мм) сталевій балки (Рисунок К.1);

θ_o температура нижньої полиці сталевій балки, віддаленої від з'єднання;

h висота частини, що розглядається над низом балки, мм;

D – висота балки, мм.

б) Якщо висота балки більше 400 мм:

i) Якщо h менше або дорівнює $D/2$:

$$\theta_h = 0,88\theta_o, \quad (K.6)$$

ii) Якщо h більше $D/2$:

$$\theta_h = 0,88\theta_o [1 + 0,2(1 - 2h/D)], \quad (K.7)$$

де θ_o – температура нижньої полиці сталевій балки, віддаленої від з'єднання;

h – висота частини, що розглядається над низом балки, мм;

D – висота балки, мм.

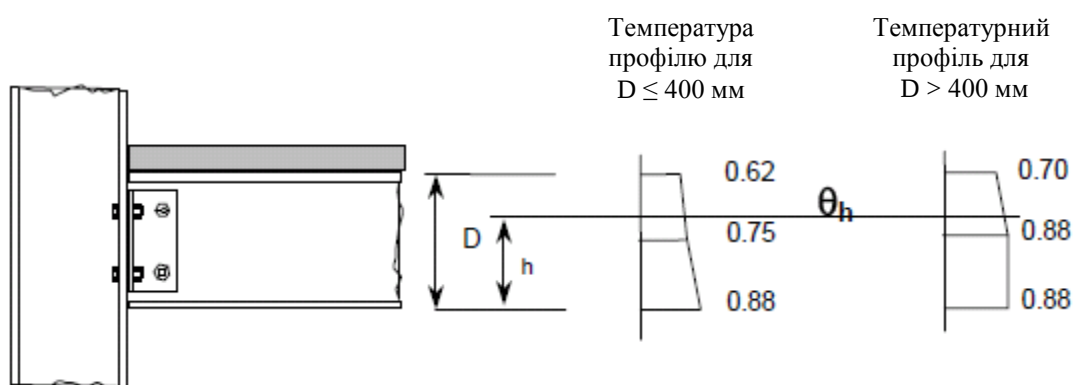


Рисунок К.1 – Розподіл температури по висоті складеного з'єднання

ДОДАТОК Л
(обов'язковий)

ОСНОВНІ ПОЗНАКИ, ЩО ПРИЙНЯТІ В ДСТУ,
І ЇХ ВІДПОВІДНИКИ У ДБН В.2.6-198:2014

ДСТУ	ДБН В.2.6-198	
f_y	R_y	Розрахунковий опір сталі розтягу, стиску і згину за границею текучості
$F_{v,Rd}$	R_{bs}	Розрахунковий опір зрізу одноболтового з'єднання
V_{Rd}	Q	Поперечна сила, сила зсуву

ДОДАТОК М
(довідковий)
ПОПЕРЕЧНІ ПЕРЕРІЗИ КЛАСУ 4

М.1 Уточнені розрахункові моделі

М.1.1 Уточнені розрахункові моделі використовують для проектування поперечних перерізів Класу 4, якщо враховані всі ефекти стійкості.

М.2 Спрощені розрахункові моделі

М.2.1 Міцність конструкцій, що працюють на стиск, з поперечним перерізом Класу 4 перевіряють за формулами, що наведені в 6.6.2.3.2, для зігнутих балок – в 6.6.2.3.4 та для стиснуто-зігнутих конструкцій – у 6.6.2.3.5, де площу замінюють робочою площею, а момент опору перерізу замінюють розрахунковим моментом опору перерізу.

М.2.2 Розрахункову площу поперечного перерізу та розрахунковий момент опору перерізу визначають, базуючись на властивостях матеріалу за температури 20 °С.

М.2.3 Для проектування у разі пожежі розрахункову границю текучості сталі приймають як 0,2 відсотка умовної границі текучості. Цю розрахункову границю текучості використовують для визначення опору на розтяг та стиск, дію момента або поперечної сили.

М.2.4 Коефіцієнти зниження розрахункової границі текучості вуглецевої сталі відносно границі текучості для 20°С приймають з таблиці М.1:

- розрахункова границя текучості відносно границі текучості для 20 °С

$$k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta}/f_y;$$

- нахил лінійної ділянки діаграми у межах пружної роботи відносно нахилу за температури 20 °С $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$.

Примітка. Ці коефіцієнти зниження відображені на рисунку М.1.

Таблиця М.1 – Коефіцієнти зниження для вуглецевої сталі для проектування поперечних перерізів Класу 4 за підвищених температур

Температура сталі, θ_a , °C	Коефіцієнт зниження (відносно f_y) розрахункової границі текучості гарячекатаних та зварних перерізів Класу 4 $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta}/f_y$
20	1,00
100	1,00
200	0,89
300	0,78
400	0,65
500	0,53
600	0,30
700	0,13
800	0,07
900	0,05
1000	0,03
1100	0,02
1200	0,00

Примітка 1. Для проміжних значень температури сталі використовують лінійну інтерполяцію.

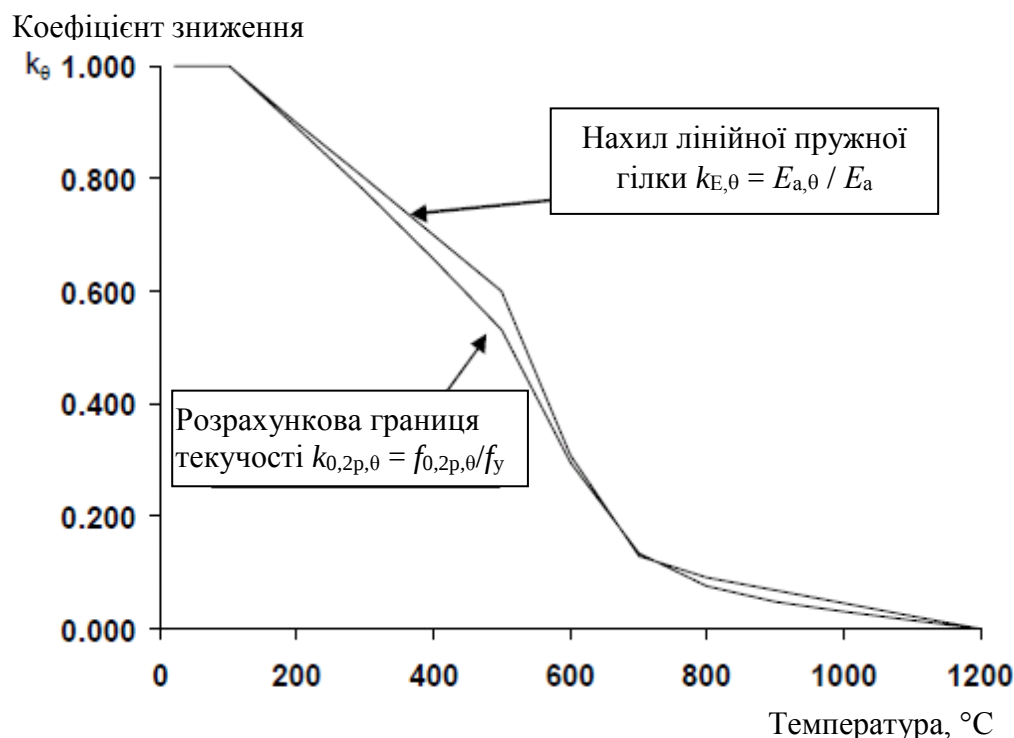


Рисунок М.1 – Коефіцієнти зниження діаграми «напруження-деформації» гарячекатаних сталевих перерізів Класу 4 за підвищеної температури

ДОДАТОК Н
(обов'язковий)

ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА ДО ЗОВНІШНІХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Н.1 Загальні положення

Н.1.1 Основні положення

Н.1.1.1 В цьому додатку припускають, що протипожежний відсік обмежено лише одним поверхом. Всі вікна або інші відкриті прорізи у протипожежному відсіку приймають прямокутними.

Н.1.1.2 Температуру у протипожежному відсіку, розміри та температуру полум'я, що виходить з прорізів, а також параметри радіаційного та конвективного теплообміну визначають згідно з додатком Д цього стандарту.

Н.1.1.3 Залежно від розташування відносно прорізів у стінах протипожежного відсіку розрізняють конструкції, що не охоплені полум'ям, та конструкції, що в ньому знаходяться.

Н.1.1.4 Вважається, що конструкція, яка не охоплена полум'ям, отримує теплоту шляхом радіаційного теплообміну від усіх прорізів протипожежного відсіку та від полум'я, що виходить з цих прорізів.

Н.1.1.5 Вважається, що конструкція, яка знаходиться в полум'ї, отримує теплоту шляхом конвективного теплообміну від цього полум'я, а також отримує додаткову кількість теплоти в результаті радіаційного теплообміну від полум'я, в якому вона знаходиться, та від прорізів, з яких це полум'я виходить. Радіаційною передачею тепла від іншого полум'я та від інших прорізів можна знехтувати.

Н.1.2 Умовні позначення розмірів

Н.1.2.1 Умовне позначення геометричних параметрів визначено на рисунку Н.1.

Н.1.3 Тепловий баланс

Н.1.3.1 Середню температуру сталевій конструкції T_m , (К), що не охоплена полум'ям, визначають шляхом розв'язання рівняння теплового балансу:

$$\sigma T_m^4 + \alpha_c T_m = \Sigma I_z + \Sigma I_f + 293\alpha_c, \quad (\text{Н.1})$$

де σ – стала Стефана Больцмана, $\sigma = 56,7 \cdot 10^{-12}$ кВт/(м² К⁴);

α_c – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, кВт/(м² К);

I_z – радіаційний тепловий потік від полум'я, кВт/м²;

I_f – радіаційний тепловий потік з прорізів, кВт/м².

Н.1.3.2 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією α_c визначають згідно з додатком Д цього стандарту для умов пожежі, що регулюється вентиляцією, та пожежі, що регулюється навантаженням, з використанням розрахункового розміру перерізу $d = (d_1 + d_2)/2$.

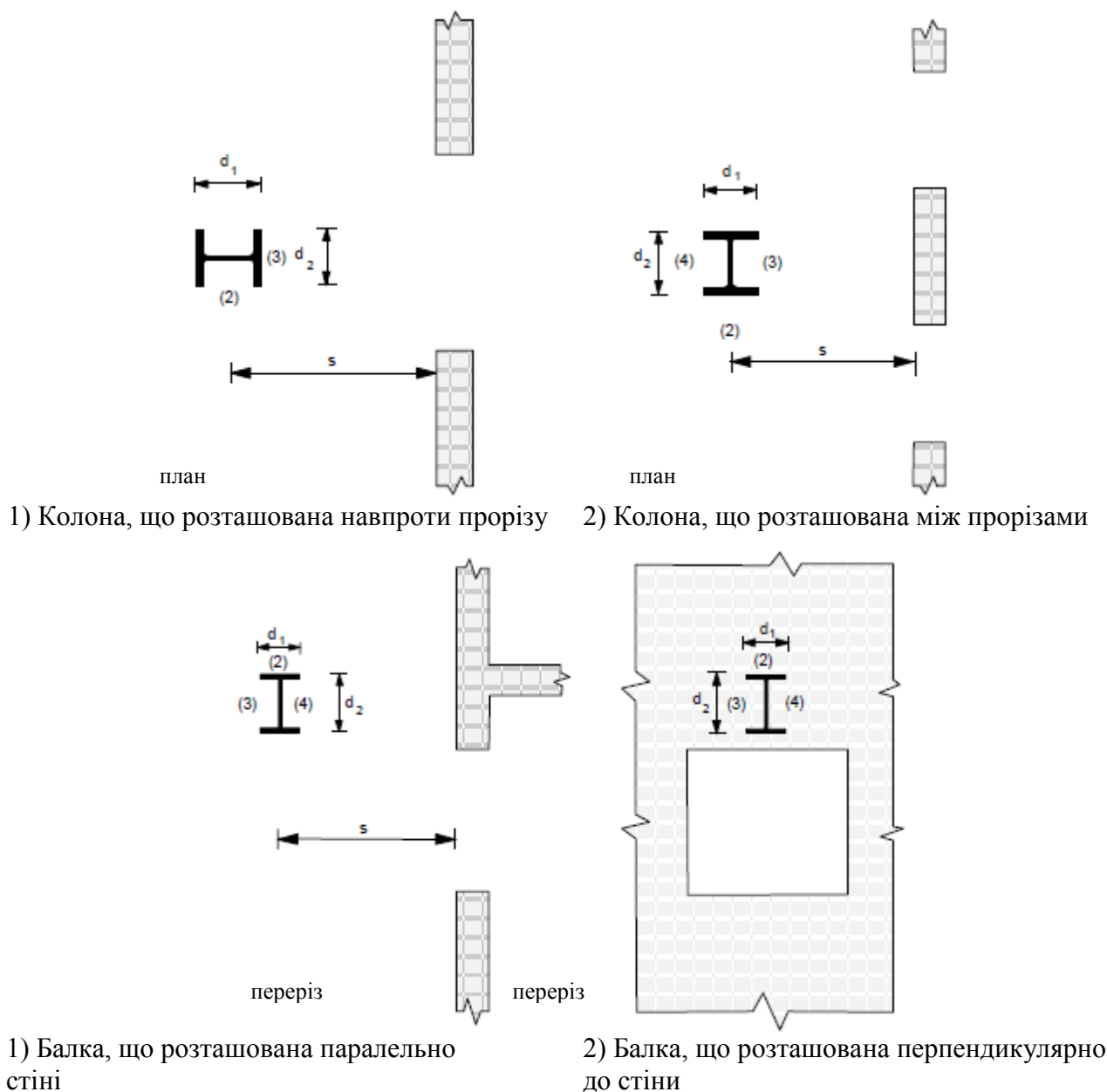


Рисунок Н.1 – Розміри та поверхні конструкцій

Н.1.3.3 Середню температуру сталевій конструкції T_m , (К), що знаходиться в полум'ї, визначають шляхом розв'язання такого рівняння теплового балансу:

$$\sigma T_m^4 + \alpha_c T_m = \Sigma I_z + \Sigma I_f + \alpha_c T_z, \quad (H.2)$$

де σ – стала Стефана Больцмана, $\sigma = 56,7 \cdot 10^{-12}$ кВт/(м² К⁴);

T_z – температура полум'я, К;

α_c – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, кВт/(м² К);

I_z – радіаційний тепловий потік від полум'я, кВт/м²;

I_f – радіаційний тепловий потік з прорізів, кВт/м².

Н.1.3.4 Радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають залежно від розташування та типу конструкції таким чином:

- для колони, що не охоплена полум'ям, згідно з положеннями Н.2;
- для балки, що не охоплена полум'ям, згідно з положеннями Н.3;
- для колони, що знаходиться в полум'ї, згідно з положеннями Н.4;
- для балки, що повністю або частково знаходиться в полум'ї, згідно з положеннями Н.5.

Інші випадки розглядають аналогічно, використовуючи відповідні перетворення виразів, наведених в Н.2 – Н.5.

Н.1.3.5 Радіаційний тепловий потік I_f з прорізів визначають за формулою:

$$I_f = \phi_f \varepsilon_f (1 - a_z) \sigma T_f^4, \quad (H.3)$$

де ϕ_f – результативний кутовий коефіцієнт конструкції для розрахунку радіаційного теплообміну з прорізом;

ε_f – коефіцієнт теплового випромінювання прорізу;

a_z – коефіцієнт теплового поглинання полум'я;

T_f – температура полум'я, К, згідно з додатком Д цього стандарту.

Н.1.3.6 Коефіцієнт теплового випромінювання прорізу ε_f дорівнює одиниці згідно з додатком Б цього стандарту.

Н.1.3.7 Коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z визначають згідно з Н.2–Н.5.

Н.1.4 Результивний кутовий коефіцієнт

Н.1.4.1 Результівний кутовий коефіцієнт ϕ_f конструкції для радіаційного теплообміну з прорізом визначають за формулою:

$$\phi_f = \frac{(C_1\phi_{f,1} + C_2\phi_{f,2})d_1 + (C_3\phi_{f,3} + C_4\phi_{f,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2}, \quad (\text{H.4})$$

де $\phi_{f,i}$ – кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для прорізу, дивися додаток Б;

d_i – розмір поперечного перерізу i -ї поверхні конструкції;

C_i – коефіцієнт захищеності i -ї поверхні конструкції, який становить:

- для захищеної поверхні: $C_i = 0$;
- для незахищеної поверхні: $C_i = 1$.

Н.1.4.2 Кутовий коефіцієнт $\phi_{f,i}$ для поверхні конструкції, з якої проріз не видно, дорівнює нулю.

Н.1.4.3 Результівний кутовий коефіцієнт ϕ_z конструкції для радіаційного теплообміну від полум'я визначають за формулою:

$$\phi_z = \frac{(C_1\phi_{z,1} + C_2\phi_{z,2})d_1 + (C_3\phi_{z,3} + C_4\phi_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2}, \quad (\text{H.5})$$

де $\phi_{z,i}$ – кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для полум'я згідно з додатком Б.

Н.1.4.4 Кутові коефіцієнти $\phi_{z,i}$ поверхонь конструкцій для розрахунку радіаційного теплообміну від полум'я можуть прийматися на основі приведення полум'я до прямокутника еквівалентного розміру. Розміри та розташування еквівалентних прямокутників, що відображають фронтальну поверхню і боки полум'я для цієї мети, визначають згідно з Н.2 для колон та Н.3 для балок. Для всіх інших випадків використовують розміри полум'я згідно з додатком Д.

Н.1.4.5 Кутовий коефіцієнт $\phi_{z,i}$ для поверхні конструкції, з якої полум'я не видно, дорівнює нулю.

Н.1.4.6 Поверхня конструкції може бути захищена тепловими екранами відповідно до 6.6.2.5.4. Поверхня конструкції, що безпосередньо прилегає до стіни відсіку, розглядається як захищена, за умови відсутності прорізів у цій частині стіни. Усі інші поверхні конструкції розглядаються, як незахищені.

Н.2 Колона, що не охоплена полум'ям

Н.2.1 Радіаційний теплообмін

Н.2.1.1 Розрізняють колону, що розташована навпроти прорізу, та колону, що розташована між прорізами (див. рисунок Н.2).

Н.2.1.2 Якщо колона розташована навпроти прорізу, радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають за формулою:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4, \quad (\text{Н.6})$$

де ϕ_z – результативний кутовий коефіцієнт колони для радіаційного теплообміну з полум'ям (див. Н.1.4);

ε_z – коефіцієнт теплового випромінювання полум'я (див. Н.2.2);

T_z – температура полум'я, К (див. Н.2.3).

Приклади наведено на рисунку Н.3.

Н.2.1.3 Якщо колона розташована між прорізами, загальний радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають за формулою:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4, \quad (\text{Н.7})$$

де $\phi_{z,m}$ – кутовий коефіцієнт колони для розрахунку радіаційного теплообміну від полум'я зі сторони m (див. Н.1.4);

$\phi_{z,n}$ – кутовий коефіцієнт колони для розрахунку радіаційного теплообміну від полум'я зі сторони n (див. Н.1.4);

$\varepsilon_{z,m}$ – загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я зі сторони m (див. Н.2.2);

$\varepsilon_{z,n}$ – загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я зі сторони n (див. Н.2.2).

Приклади наведено на рисунку Н.4.

Н.2.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я

Н.2.2.1 Якщо колона розташована навпроти прорізу, коефіцієнт теплового випромінювання полум'я ε_z визначають шляхом розв'язання виразу, наведеного в додатку Д. При цьому використовують товщину полум'я λ на рівні верху

прорізів. Якщо навіс або балкон над прорізом відсутні, значення λ визначають таким чином:

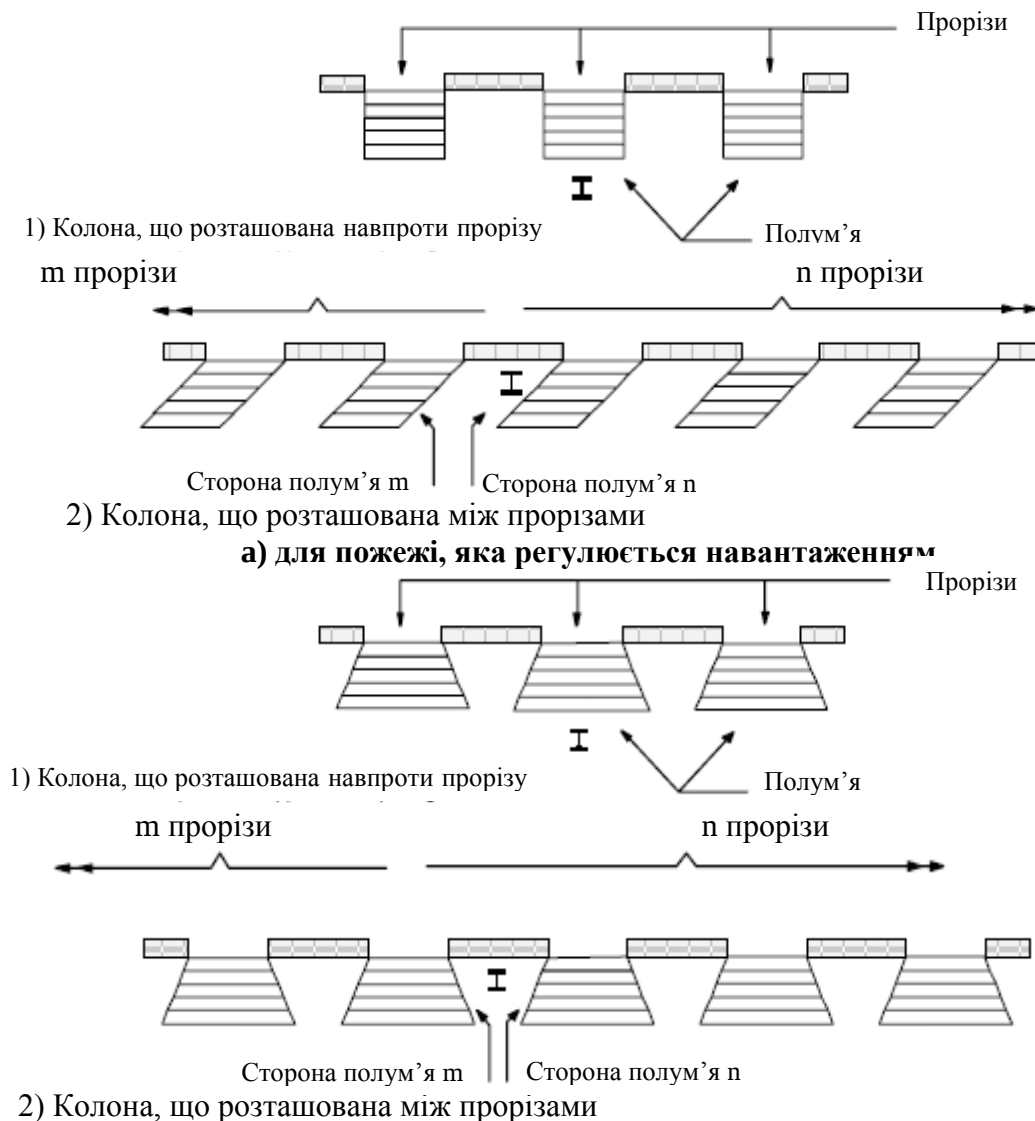
– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$\lambda = 2h / 3; \quad (\text{Н.8})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією:

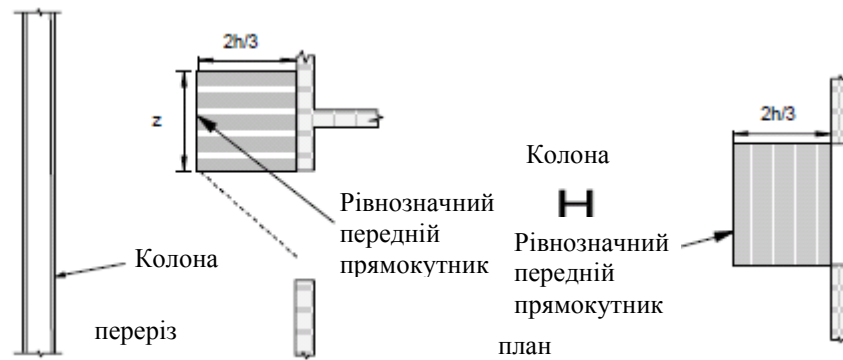
$$\lambda = x, \text{ але } \lambda \leq h x / z, \quad (\text{Н.9})$$

де h , x та z наведені в додатку Д.

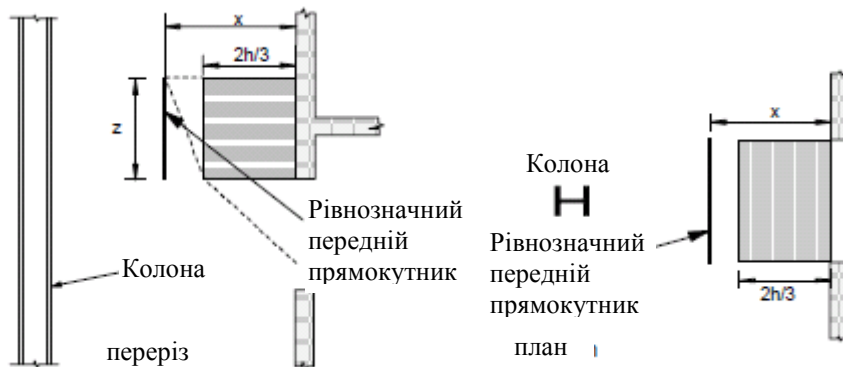


б) для пожежі, яка регулюється вентиляцією

Рисунок Н.2 – Розташування колони

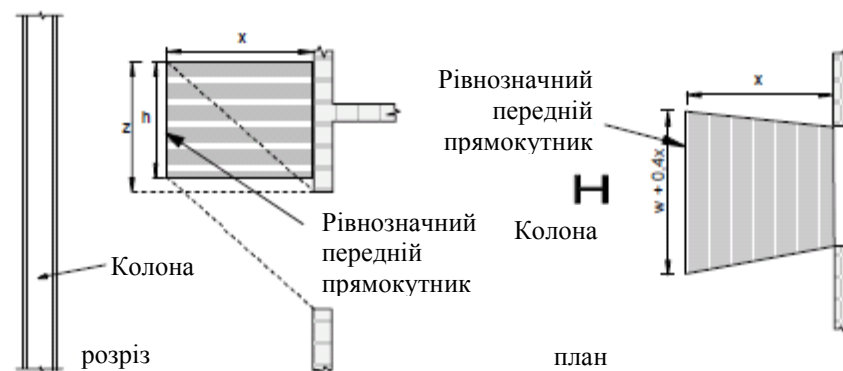


1) стіна вище та $h < 1,25w$



2) стіна вище та $h > 1,25w$ або стіна вище відсутня

а) для пожежі, яка регулюється навантаженням



б) для пожежі, яка регулюється вентиляцією

Рисунок Н.3 – Колона, що розташована навпроти прорізу

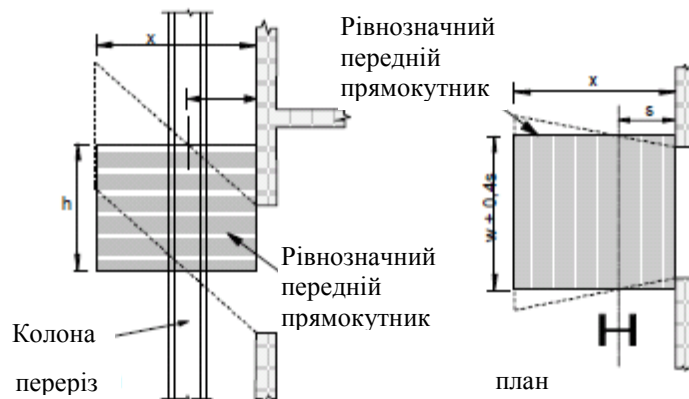
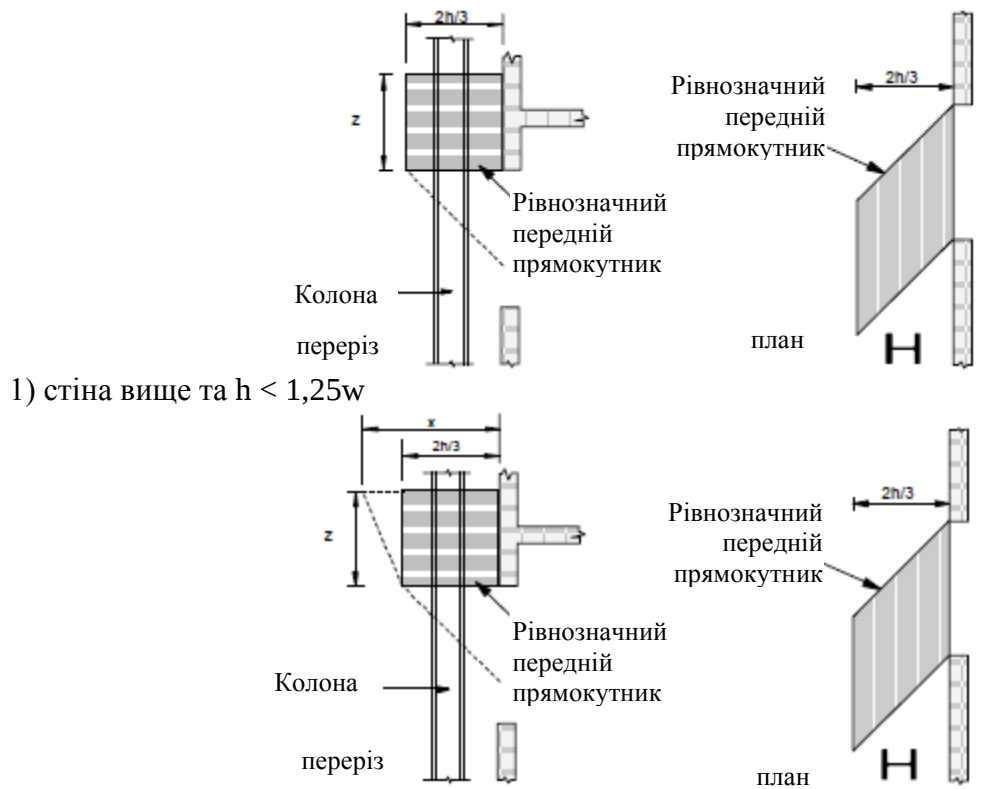


Рисунок Н.4 – Колона, що розташована між прорізами

Н.2.2.2 Якщо колона розташована між прорізами, загальні коефіцієнти теплового випромінювання полум'я $\varepsilon_{z,m}$ та $\varepsilon_{z,n}$ на сторонах m та n визначають шляхом розв'язання виразу, наведеного в додатку Д. При цьому використовують товщину полум'я λ , яку визначають таким чином:

– для сторони m :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i; \quad (\text{Н.10})$$

– для сторони n :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (\text{Н.11})$$

де m – кількість прорізів на стороні m ;

n – кількість прорізів на стороні n ;

λ_i – товщина полум'я для i -го прорізу.

Н.2.2.3 Товщину полум'я λ_i визначають таким чином:

– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$\lambda_i = w_i; \quad (\text{Н.12})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією:

$$\lambda_i = w_i + 0,4s, \quad (\text{Н.13})$$

де w_i – ширина прорізу;

s – відстань від осі колони до стіни протипожежного відсіку (див. рисунок Н.1).

Н.2.3 Температура полум'я

Н.2.3.1 За температуру полум'я T_z приймають температуру на осі полум'я, що визначена за формулою для T_z , наведеного в додатку Д, на відстані l від прорізу, яка визначена вздовж осі полум'я, відповідно для пожеж, що регулюються навантаженням або вентиляцією, таким чином:

– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$l = h/2; \quad (\text{Н.14})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією:

– для колони, що розташована перед прорізом:

$$l = 0; \quad (\text{Н.15})$$

– для колони, що розташована між прорізами, за умови відсутності навісу або балкону над прорізом l – відстань вздовж осі полум'я від стіни протипожежного відсіку до точки на відстані s по горизонталі:

$$l = s X / x, \quad (\text{Н.16})$$

де X та x визначають з додатку Д.

Н.2.4 Коефіцієнт теплового поглинання полум'я

Н.2.4.1 Для пожежі, яка регулюється навантаженням, коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z дорівнює нулю.

Н.2.4.2 Для пожежі, яка регулюється вентиляцією, коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z дорівнює коефіцієнту теплового випромінювання ε_z відповідного полум'я (див. Н.2.2).

Н.3 Балка, що не охоплена полум'ям

Н.3.1 Радіаційний теплообмін

Н.3.1.1 У положеннях, наведених у цьому розділі, прийнято, що рівень розташування нижнього краю балки знаходиться не нижче рівня верху прорізів протипожежного відсіку.

Н.3.1.2 Розрізняють балки, що розташовані паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку, та балки, що розташовані перпендикулярно до зовнішньої стіни протипожежного відсіку (див. рисунок Н.5).

Н.3.1.3 Якщо балка розташована паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку, то середню температуру сталевих конструкцій T_m визначають у точці вздовж балки, яка розташована над центром прорізу. У цьому разі радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають за формулою:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4, \quad (\text{Н.17})$$

де ϕ_z – результативний кутовий коефіцієнт для випадка розташування полум'я навпроти балки (див. Н.1.4);

ε_z – коефіцієнт теплового випромінювання полум'я (див. Н.3.2);

T_z – температура полум'я, К (див. Н.3.3).

Н.3.1.4 Якщо балка розташована перпендикулярно до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, то середню температуру балки визначають,

враховуючи значення температури у ряді точок, що розташовані вздовж балки через кожні 100 мм. За середню температуру сталеві конструкції T_m приймають максимальне з цих значень. У цьому разі радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають за формулою:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4, \quad (\text{Н.18})$$

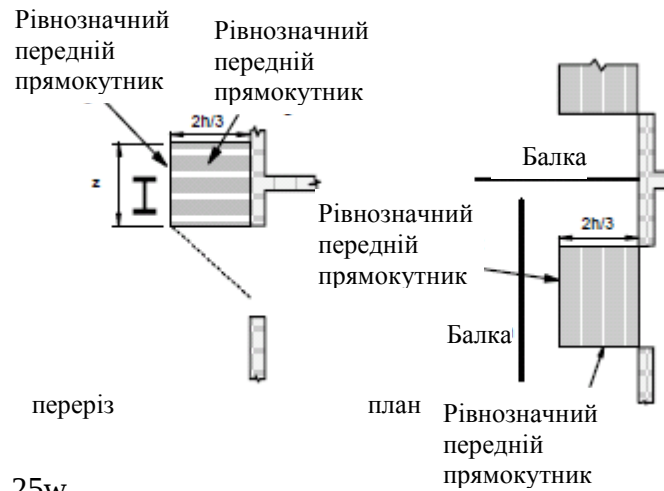
де $\phi_{z,m}$ – результативний кутовий коефіцієнт балки для розрахунку радіаційного теплообміну від полум'я зі сторони m (див. Н.3.2);

$\phi_{z,n}$ – результативний кутовий коефіцієнт балки для розрахунку радіаційного теплообміну від полум'я зі сторони n (див. Н.3.2);

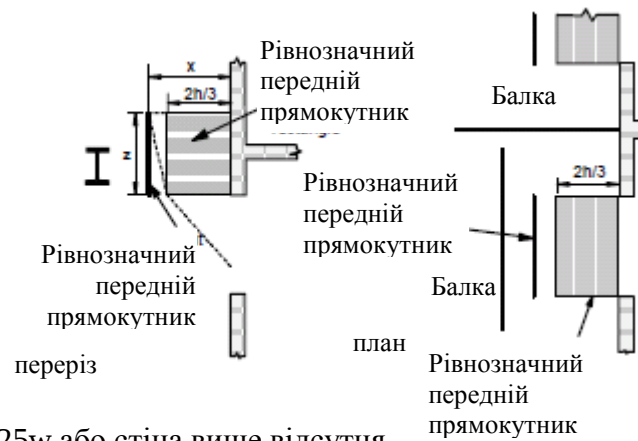
$\varepsilon_{z,m}$ – загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я зі сторони m (див. Н.3.3);

$\varepsilon_{z,n}$ – загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я зі сторони n (див. Н.3.3);

T_z – температура полум'я, К (див. Н.3.4).

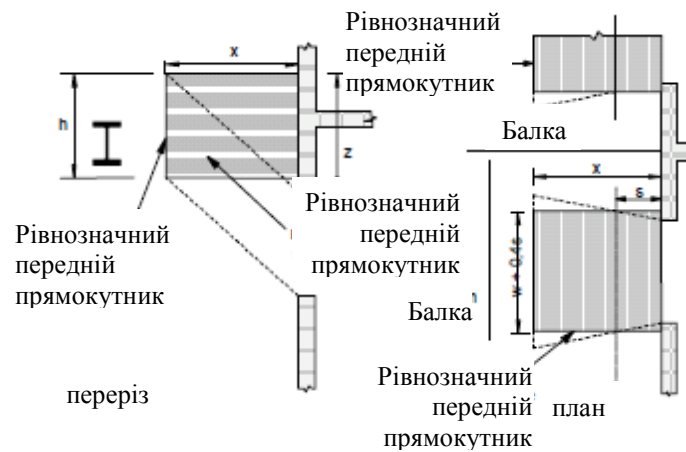


1) стіна вище та $h < 1,25w$



2) стіна вище та $h > 1,25w$ або стіна вище відсутня

а) для пожежі, яка регулюється навантаженням



б) для пожежі, яка регулюється вентиляцією

Рисунок Н.5 – Балка, що не охоплена полум'ям

Н.3.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я

Н.3.2.1 У разі, якщо балка розташована над прорізом паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку, коефіцієнт теплового випромінювання полум'я ε_z визначають шляхом розв'язання виразу для ε , наведеного в додатку Д. При цьому використовують товщину полум'я λ на рівні верху прорізів. Якщо навіс або балкон над прорізом відсутні, значення λ визначають таким чином:

– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$\lambda = 2h / 3; \quad (\text{Н.19})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією:

$$\lambda = x, \text{ але } \lambda \leq h \times / z, \quad (\text{Н.20})$$

де h , x та z наведені в додатку Д.

Н.3.2.2 Якщо балка розташована між двома прорізами перпендикулярно до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, загальні коефіцієнти теплового випромінювання полум'я $\varepsilon_{z,m}$ та $\varepsilon_{z,n}$ на сторонах m та n визначають шляхом розв'язання виразу, наведеного в додатку Д. При цьому використовують товщину полум'я λ , яку визначають таким чином:

– для сторони m :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i; \quad (\text{Н.21})$$

– для сторони n :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (\text{Н.22})$$

де m – кількість прорізів на стороні m ;

n – кількість прорізів на стороні n ;

λ_i – товщина полум'я для i -го прорізу.

Н.3.2.3 Товщину полум'я λ_i визначають таким чином:

– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$\lambda_i = w_i; \quad (\text{Н.23})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією:

$$\lambda_i = w_i + 0,4s, \quad (\text{Н.24})$$

де w_i – ширина прорізу;

s – відстань від стіни протипожежного відсіку до точки балки, яку розглядають (див. рисунок Н.5).

Н.3.3 Температура полум'я

Н.3.3.1 За температуру полум'я T_z приймають температуру на осі полум'я, що визначена за формулою для T_z , наведеного в додатку Д, на відстані l від прорізу, яка визначена вздовж осі полум'я, відповідно для пожежі, що регулюються навантаженням або вентиляцією, таким чином:

– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$l = h / 2, \quad (\text{Н.25})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією:

– для балки, що розташована над прорізом паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку:

$$l = 0, \quad (\text{Н.26})$$

– для балки, що розташована між прорізами перпендикулярно до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, за умови відсутності навісу або балкону над прорізом l – відстань вздовж осі полум'я від стіни протипожежного відсіку до точки на відстані s по горизонталі:

$$l = s X / x, \quad (\text{Н.27})$$

де X та x визначають з додатку Д.

Н.3.4 Коефіцієнт теплового поглинання полум'я

Н.3.4.1 Для пожежі, яка регулюється навантаженням, коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z дорівнює нулю.

Н.3.4.2 Для пожежі, яка регулюється вентиляцією, коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z дорівнює коефіцієнту теплового випромінювання ε_z відповідного полум'я (див. Н.3.2).

Н.4 Колона, що знаходиться в полум'ї

Н.4.1 Радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають за формулою:

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2})d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2) \cdot d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (\text{Н.28})$$

де

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_z^4; \quad (\text{Н.29})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_z^4; \quad (\text{Н.30})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma T_o^4; \quad (\text{Н.31})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma T_z^4; \quad (\text{Н.32})$$

де $I_{z,i}$ – радіаційний тепловий потік від полум'я до i -ї поверхні колони;

$\varepsilon_{z,i}$ – коефіцієнт теплового випромінювання полум'я відносно i -ї поверхні

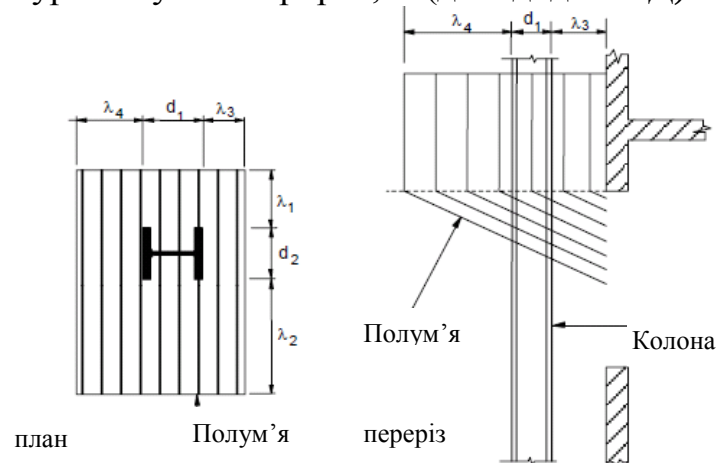
колони;

i – порядковий номер поверхні колони;

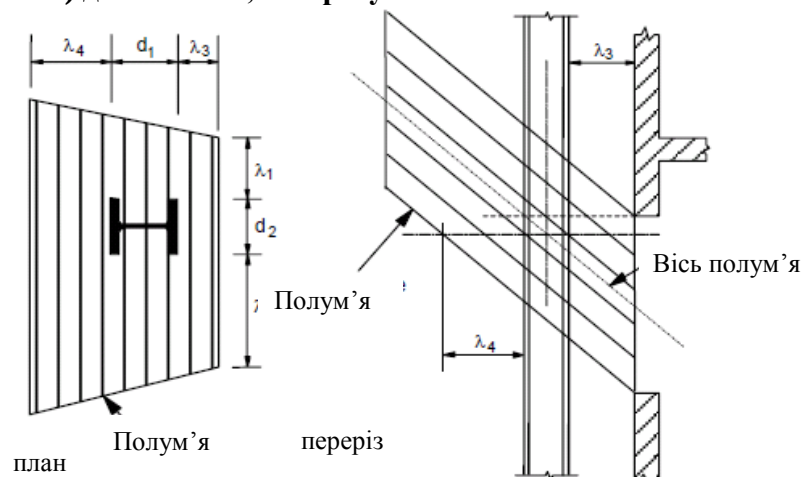
C_i – коефіцієнт захисту i -ї поверхні конструкції (див. Н.1.4);

T_z – температура полум'я, К;

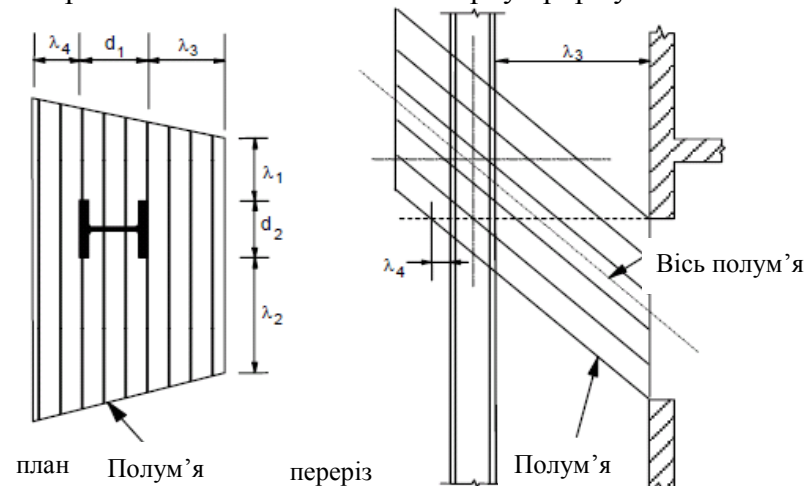
T_o – температура полум'я в прорізі, К (див. додаток Д).



а) для пожежі, яка регулюється навантаженням



1) Вісь полум'я перетинає вісь колони нижче верху прорізу



2) Вісь полум'я перетинає вісь колони над верхом прорізу

б) для пожежі, яка регулюється вентиляцією

Рисунок Н.6 – Колонна, що знаходиться в полум'ї

Н.4.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я $\varepsilon_{z,i}$ для 1, 2, 3 та 4 поверхней колони визначають за формулою для ε , наведеному в додатку Д, з використанням товщини полум'я λ , що дорівнює розміру λ_i , що відповідає i -й поверхні колони (див. рисунок Н.6).

Н.4.3 Для пожежі, яка регулюється навантаженням, використовують значення λ_i на рівні верху прорізу (див. рисунок Н.6а).

Н.4.4 Для пожежі, яка регулюється вентиляцією, якщо вісь полум'я та вісь колони перетинаються нижче рівня верху прорізу, використовують значення λ_i для рівня перетину осей (див. рисунок Н.6б)1). В іншому разі використовують значення λ_i для рівня верху прорізу (див. рисунок Н.6б)2), окрім випадків, коли для зазначеного рівня $\lambda_4 < 0$. У цьому разі використовують значення $\lambda_4 = 0$.

Н.4.5 За температуру полум'я T_z приймають температуру на осі полум'я, що визначена за формулою для T_z , наведеного в додатку Д, на відстані l від прорізу, яка визначена вздовж осі полум'я, відповідно для пожеж, що регулюються навантаженням або вентиляцією, таким чином:

– для пожежі, яка регулюється навантаженням:

$$l = h / 2; \quad (\text{Н.33})$$

– для пожежі, яка регулюється вентиляцією, за умови відсутності навісу або балкону над прорізом l – відстань вздовж осі полум'я до рівня, для якого визначено λ_i :

$$l = (\lambda_3 + 0,5d_1) X / x, \quad (\text{Н.34})$$

де h , X та x визначають з додатку Д.

Розрахункове значення l за (Н.34) відповідає такому обмеженню:

$$l \leq 0,5h X / z, \quad (\text{Н.35})$$

Н.4.6 Коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z визначають за формулою:

$$a_z = \frac{\varepsilon_{z,1} + \varepsilon_{z,2} + \varepsilon_{z,3}}{3}, \quad (\text{Н.36})$$

де $\varepsilon_{z,1}$, $\varepsilon_{z,2}$ та $\varepsilon_{z,3}$ – коефіцієнти теплового поглинання полум'я для 1, 2 та 3 поверхней колони.

Н.5 Балка, що повністю або частково знаходиться в полум'ї

Н.5.1 Радіаційний теплообмін

Н.5.1.1 Загальні положення

Н.5.1.1.1 У положеннях, наведених у цьому розділі, прийнято, що рівень розташування нижнього краю балки знаходиться не нижче рівня верху прорізів протипожежного відсіку.

Н.5.1.1.2 Розрізняють балки, що розташовані паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку, та балки, що розташовані перпендикулярно до зовнішньої стіни протипожежного відсіку (див. рисунок Н.7).

Н.5.1.1.3 Якщо балка розташована паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку, то середню температуру сталеві конструкції T_m визначають у точці вздовж балки, яка розташована над центром прорізу.

Н.5.1.1.4 Якщо балка розташована перпендикулярно до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, то середню температуру балки визначають, враховуючи значення температури у ряді точок, що розташовані вздовж балки через кожні 100 мм. За середню температуру сталеві конструкції T_m приймають максимальне з цих значень.

Н.5.1.1.5 Радіаційний тепловий потік I_z від полум'я визначають за формулою:

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2})d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2) \cdot d_1 + (C_3 + C_4) \cdot d_2}, \quad (\text{Н.37})$$

де $I_{z,i}$ – радіаційний тепловий потік від полум'я до i -ї поверхні балки;

i – порядковий номер поверхні балки (1), (2), (3) або (4).

Н.5.1.2 Пожежа, що регулюється навантаженням

Н.5.1.2.1 Для пожежі, що регулюється навантаженням, розрізняють ситуації, коли вершина полум'я знаходиться вище рівня верхнього краю балки, та коли вершина полум'я знаходиться нижче цього рівня.

Н.5.1.2.2 Якщо вершина полум'я знаходиться вище рівня верхнього краю балки, застосовують такі формули:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4; \quad (\text{Н.38})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4; \quad (\text{Н.39})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 ; \quad (\text{Н.40})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 , \quad (\text{Н.41})$$

де $\varepsilon_{z,i}$ – коефіцієнт теплового випромінювання полум'я відносно i -ї поверхні балки (дивись Н.5.2);

T_0 – температура полум'я в прорізі, К (див. додаток Д);

$T_{z,1}$ – температура полум'я на рівні нижнього краю балки, К (див. додаток Д);

$T_{z,2}$ – температура полум'я на рівні верху балки, К (див. додаток Д).

Н.5.1.2.3 Для балки, що розташована паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку безпосередньо біля стіни, $C_4 = 0$ (див. рисунок Н.7).

Н.5.1.2.4 Якщо вершина полум'я знаходиться нижче рівня верхнього краю балки, застосовують такі рівняння:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_0^4; \quad (\text{Н.42})$$

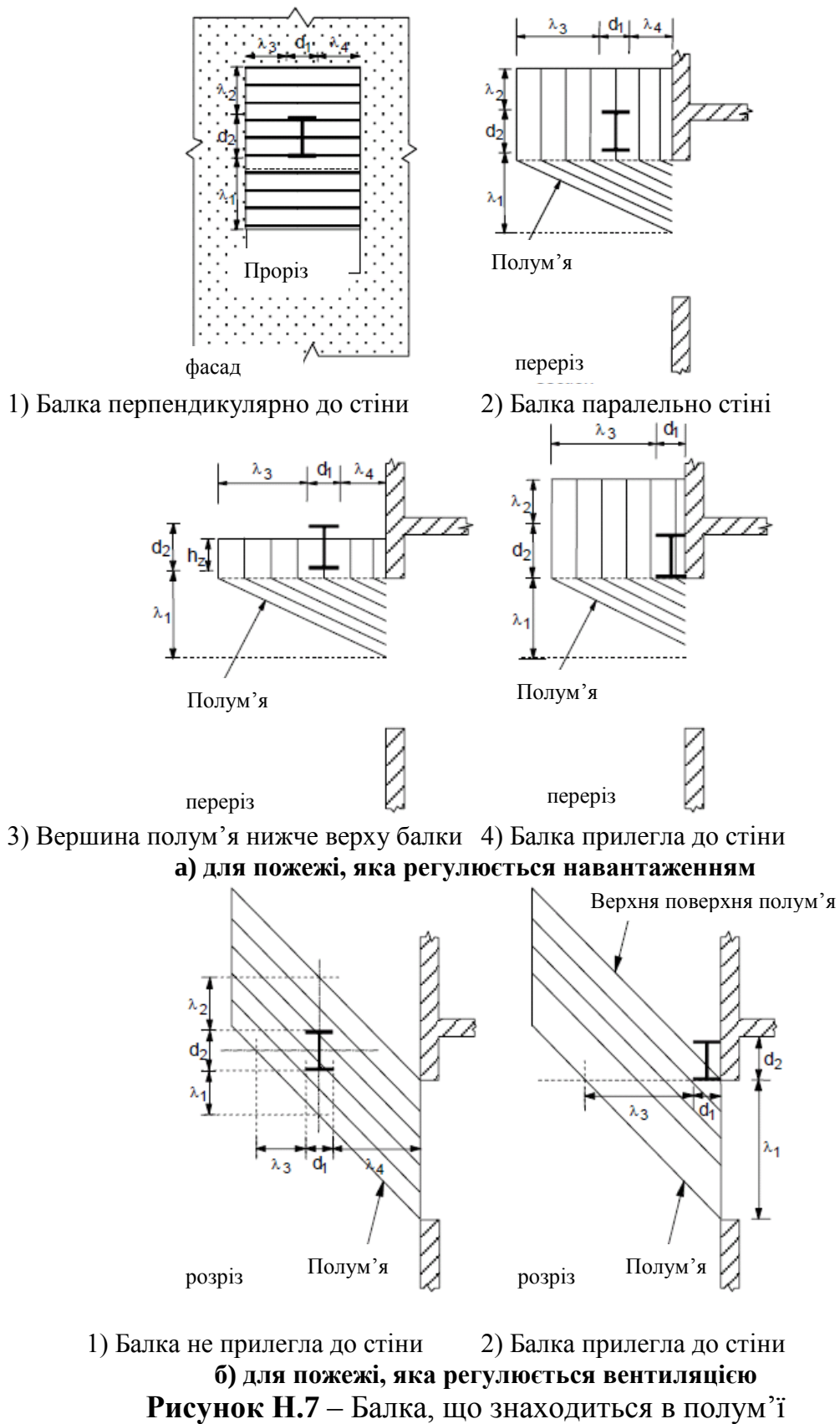
$$I_{z,2} = 0; \quad (\text{Н.43})$$

$$I_{z,3} = (h_z / d_2) C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4) / 2, \quad (\text{Н.44})$$

$$I_{z,4} = (h_z / d_2) C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4) / 2, \quad (\text{Н.45})$$

де T_x – температура фронту полум'я, 813 К;

h_z – перевищення вершиною полум'я рівня нижнього краю балки.



Н.5.1.3 Пожежа, що регулюється вентиляцією

Н.5.1.3.1 Для пожежі, що регулюється вентиляцією, серед балок, що розташовані паралельно зовнішній стіні протипожежного відсіку, розрізняють балки, суміжні та не суміжні зі стіною. Приклади наведено на рисунку Н.7.

Н.5.1.3.2 Для балки, що розташована паралельно стіні, але не суміжна з нею, або для балки, що розташована перпендикулярно до стіни, застосовують такі формули:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4; \quad (\text{Н.46})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4; \quad (\text{Н.47})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2; \quad (\text{Н.48})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4) / 2. \quad (\text{Н.49})$$

Н.5.1.3.3 Для балки, що розташована паралельно стіні та суміжна з нею, лише нижня полиця розглядається як охоплена полум'ям, а одна зі сторін верхньої частини балки зазнає впливу радіаційного теплового потоку від верхньої частини полум'я (див. рисунок Н.7б)2). Таким чином:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4; \quad (\text{Н.50})$$

$$I_{z,2} = \phi_{z,2} C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4; \quad (\text{Н.51})$$

$$I_{z,3} = \phi_{z,3} C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2; \quad (\text{Н.52})$$

$$I_{z,4} = 0, \quad (\text{Н.53})$$

де $\phi_{z,i}$ – кутовий коефіцієнт i -ї поверхні балки відносно верхньої поверхні полум'я (див. додаток Б).

Н.5.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я

Н.5.2.1 Коефіцієнт випромінювання полум'я $\varepsilon_{z,i}$ для кожної поверхні балки визначають за формулою для ε , наведеного в додатку Д. При цьому використовують товщину полум'я λ , що дорівнює розміру λ_i , який відповідає i -й поверхні балки (див. рисунок Н.7).

Н.5.3 Коефіцієнт теплового поглинання полум'я

Н.5.3.1 Коефіцієнт теплового поглинання полум'я a_z визначають за формулою:

$$a_z = 1 - e^{-0,3h}, \quad (\text{Н.54})$$

де h – висота прорізу. Див. рисунок Н.7 б) (висота є примітка: d як λ_1).

ДОДАТОК П
(довідковий)

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

П.1 Розрахунок конструктивної системи навісу над трибунами стадіону НСК "Олімпійський" на вогнестійкість уточненими методами

П.1.1 Конструкція навісу над трибунами стадіону НСК «Олімпійський»

П.1.1.1 Навіс над трибунами стадіону НСК «Олімпійський» – це конструктивна система (далі – конструкція), яка складається з покриття та підтримуючих його несучих металевих колон, а також нижнього та верхнього кільця, які з'єднують колони між собою (рисунок П.1). Загальна кількість несучих колон дорівнює 80. Кожна колона складається з двох частин – нижньої та верхньої (рисунок П.1б), з'єднаних між собою частинами нижніх та верхніх кілець (див. рисунок П.2). Загальна висота кожної колони становить 40 м.

П.1.1.2 Колони та кільця мають коробчасту зварену структуру з чисельними перегородками і виготовлені з листової сталі різної товщини. Нижня та верхня частини колони в перерізі мають змінну по висоті ширину (рисунки П.1 та П.2).

П.1.2 Сценарії пожежі

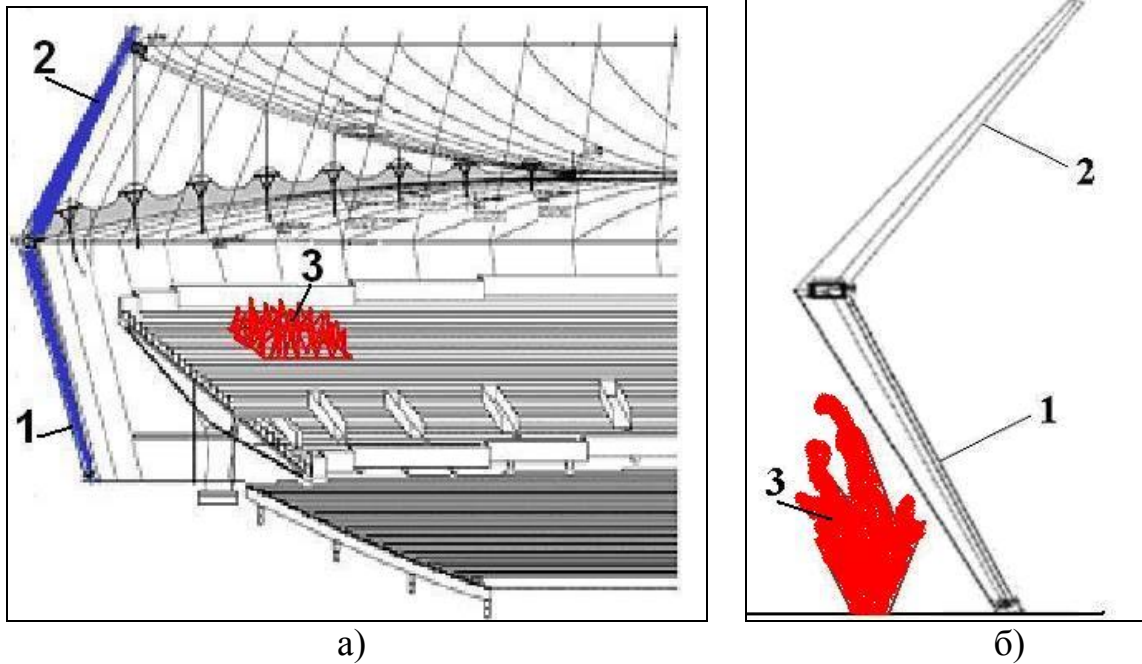
П.1.2.1 Розглядалися можливі сценарії пожежі, спричиненої горінням стільців для глядачів, які розташовані на трибунах верхнього ярусу стадіону під навісом (рисунок П.1а), та горінням об'єктів, розташованих за трибунами верхнього ярусу поблизу несучих металевих колон (рисунок П.1б).

Сценарій № 1: стільці для глядачів на площі 7 м х 7 м (рисунок П.1а) загоряються одночасно та вигорять за час, який відповідає швидкості вигорання стільців; вітер з боку футбольного поля відсутній.

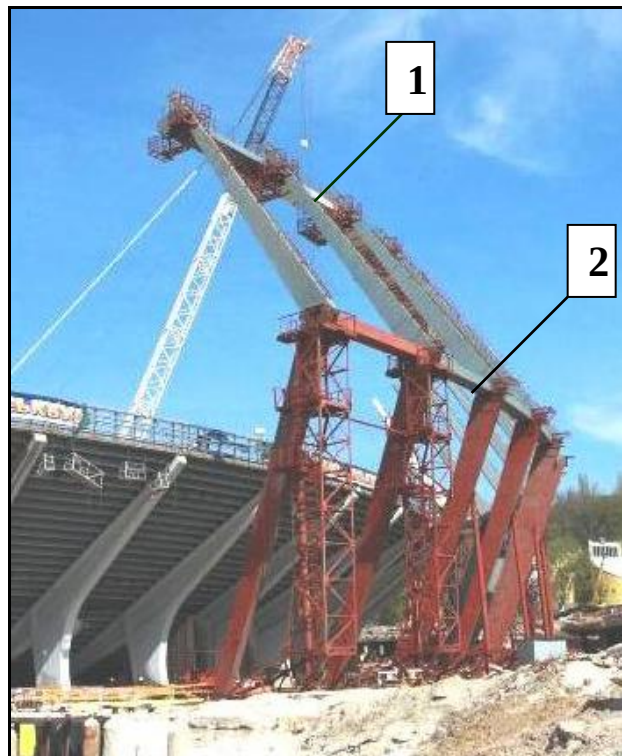
Сценарій № 2: стільці для глядачів на площі 7 м х 7 м (рисунок П.1а) загоряються одночасно та вигорять за час, який відповідає швидкості вигорання стільців; швидкість вітру з боку футбольного поля дорівнює 5 м/с.

Сценарій № 3: загоряється об'єкт, розташований біля колони (рисунок П.1б), та вигорє за час, який відповідає швидкості вигорання його пожежного

навантаження; вітер з боку футбольного поля відсутній.



1 – нижня частина колони, 2 – верхня частина колони, 3 – вогнище пожежі
Рисунок П.1 – Загальна схема навісу (а) та окремої несучої металевої колони (б) над трибунами НСК «Олімпійський»



1 – нижнє кільце, 2 – верхнє кільце

Рисунок П.2 – Зовнішній вигляд колон з кільцями

Стільці для глядачів виконані із поліаміду РА6 (рисунок П.3) та розподілені по поверхні трибуни рівномірно з густиною $4,658 \text{ кг/м}^2$.

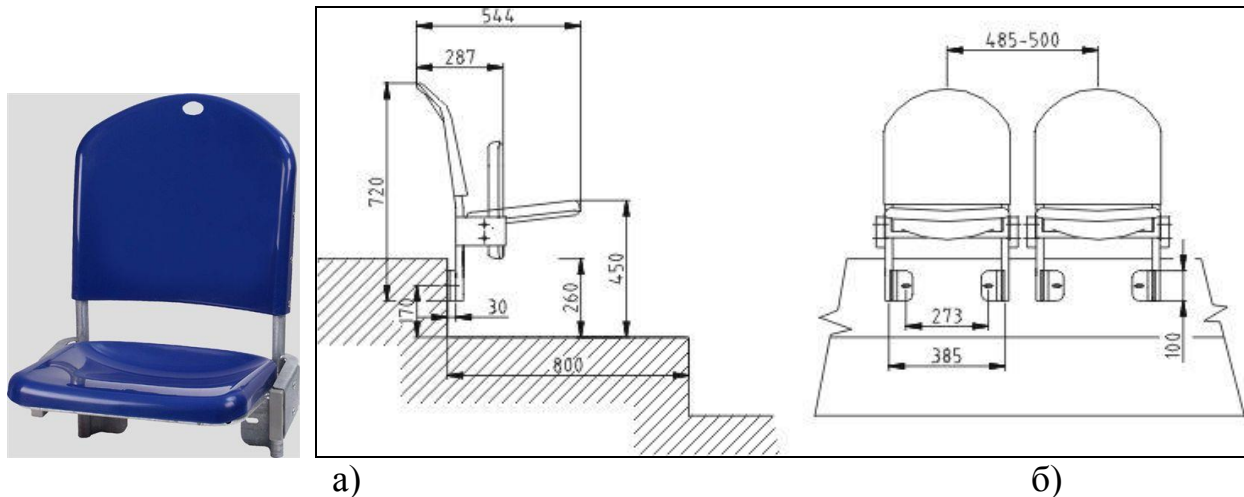


Рисунок П.3 – Зовнішній вигляд (а) та схематичне зображення взаємного розташування стільців для глядачів (б)

П.1.2.2 Питоме пожежне навантаження для сценаріїв № 1 та № 2 складає $4,658 \text{ кг/м}^2$; теплота згоряння поліаміду РА6 – $29,16 \text{ МДж/кг}$; максимальна масова швидкість вигорання пожежного навантаження $0,0083 \text{ кг/(м}^2 \text{ с)}$; молекулярна вага поліаміду РА6 – 500000 г/моль ; стехіометричне співвідношення під час вигорання 1 кг поліаміду – $14,5 \text{ кг}$ повітря (кількість повітря, яке необхідне для повного вигорання 1 кг поліаміду).

П.1.2.3 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 $8,33 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \text{ с)}$.

П.1.3 Модель теплового стану конструкції навісу в умовах пожежі

П.1.3.1 Модель основана на застосуванні системи рівнянь Нав'є-Стокса і враховує:

- швидкість вигорання пожежного навантаження, яка задається як максимальна масова швидкість вигорання пожежного навантаження;
- підйом гарячих газів, що утворюються при горінні, вгору і в бік до колон та кілець (далі – металевих конструкцій навісу), та нагрівання цих конструкцій шляхом вільної конвекції;
- повне вигорання пожежного навантаження;
- теплоту згоряння матеріалів пожежного навантаження. Теплота згоряння

і гарячі продукти згоряння виділяються в об'ємі і над об'ємом вогнища пожежі протягом часу повного вигорання пожежного навантаження. Час вигорання пожежного навантаження розраховується;

– радіаційно-конвективний теплообмін між гарячими газами, що піднімаються, вогнищем пожежі і навісом, який враховується за допомогою так званої спряженої постановки задачі, тобто 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.

П.1.3.2 Геометрична модель розрахункової області (рисунок П.4) враховує такі особливості:

- основні особливості об'єму, в якому відбувається пожежа і знаходяться металеві конструкції навісу, на які впливає пожежа;
- реальне геометричне розташування і розміри вогнища пожежі;
- рух вентиляційних потоків, включаючи всі вільні поверхні для вільного руху повітряних мас;
- розподіл температур, швидкостей і тиску в трьох просторових вимірюваннях (тривимірна модель), оскільки розподіл пожежного навантаження має локальний характер.

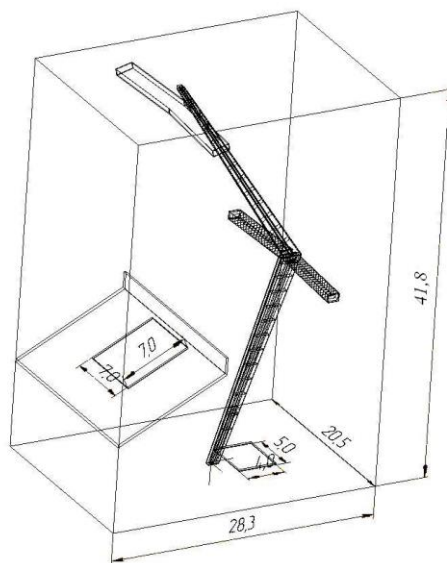


Рисунок П.4 – Геометрія та основні розміри розрахункової області розрахунків динаміки розвитку пожежі та теплового стану конструкції навісу

П.1.3.3 Геометрична розрахункова область містить всі частини колон і кілець одночасно, тому розміри цієї області є досить великими, а саме 20,5 м х 28,3 м х 40,4 м. Така геометрична модель є базовою моделлю для моделювання всіх заданих сценаріїв пожежі.

П.1.3.4 Модель теплового стану конструкції навісу при пожежі є нестационарною і враховує радіаційно-конвективний теплообмін у газовому середовищі від джерела теплової дії (вогнища пожежі) до поверхні металевих конструкцій навісу, кондуктивний теплообмін в металевих конструкціях та радіаційно-конвективний теплообмін від цих конструкцій в навколишнє середовище з боку поверхні конструкцій, що не обігривається. Модель дозволяє проведення розрахунків нестационарних полів температур в об'ємі біля навісу, що у свою чергу дозволяє визначити максимальні та середні по поперечному перерізу температури металевих конструкцій для оцінки вогнестійкості конструкції навісу за обраними критеріями.

П.1.3.5 Оскільки система рівнянь математичної моделі є складною і нелінійною, то її інтегрування здійснювалось чисельним методом контрольного об'єму розв'язання повної системи рівнянь Нав'є-Стокса з використанням сучасної обчислювальної техніки. Розрахунки полів температур під час пожежі проводилися із застосуванням комп'ютерної програми STAR-CD. Розрахункова сітка моделі мала близько 500 тисяч розрахункових елементів. При розрахунках теплофізичні властивості сталевих конструкцій навісу у моделі задавались у вигляді залежностей від температури, наведених в 6.5.3.1 цього стандарту.

П.1.4 Результати розрахунків

П.1.4.1 Визначено нестационарні поля температур в об'ємі біля навісу, в колонах та кільцях навісу для всіх сценаріїв пожежі, які розглядаються. Зокрема, отримані поля температур для сценарію № 1 і моменту часу 9,24 хв (час повного вигорання стільців для глядачів) та для сценарію № 3 і моменту часу 150 хв (час повного вигорання пожежного навантаження об'єкта, розташованого біля колони) наведені на рисунку П.5.

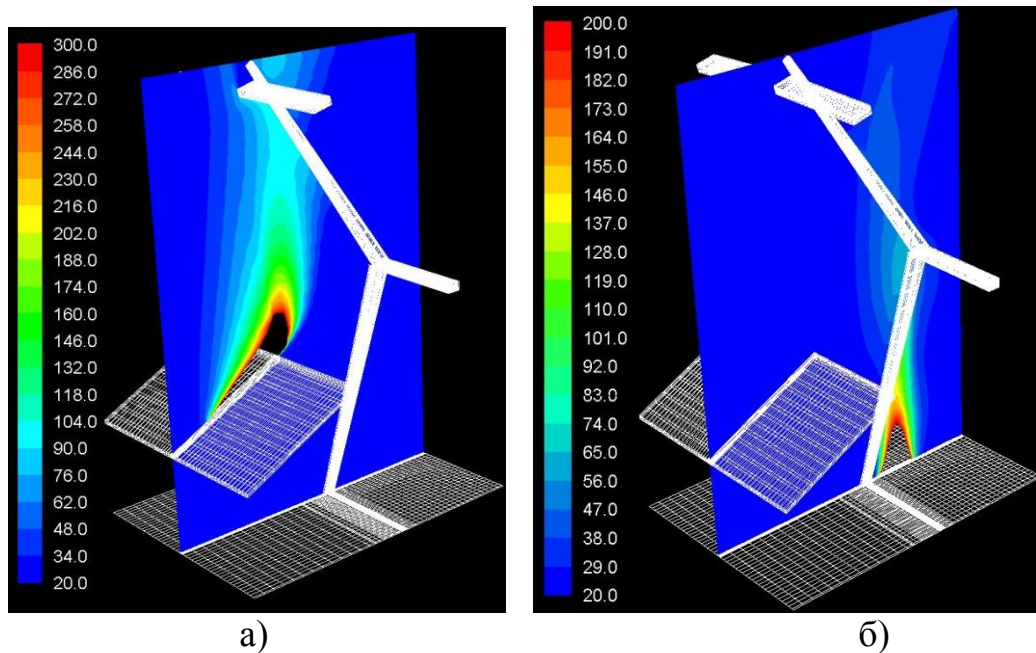


Рисунок П.5 – Поле температур в площині симетрії, що проходить крізь колони, вогнище пожежі та трибуну: а) – сценарій № 1, б) – сценарій № 3

П.1.4.2 На рисунку П.6 зображено перерізи колон та кільце навісу з номерами ліній 1 – 4. На рисунку П.7 наведено розподіли температур вздовж ліній 1 - 4 (рисунок П.6а) для верхньої колони та вздовж ліній 1 - 4 (рисунок П.6б) для верхнього кільця для сценарію № 1 і моменту часу 9,24 хв.

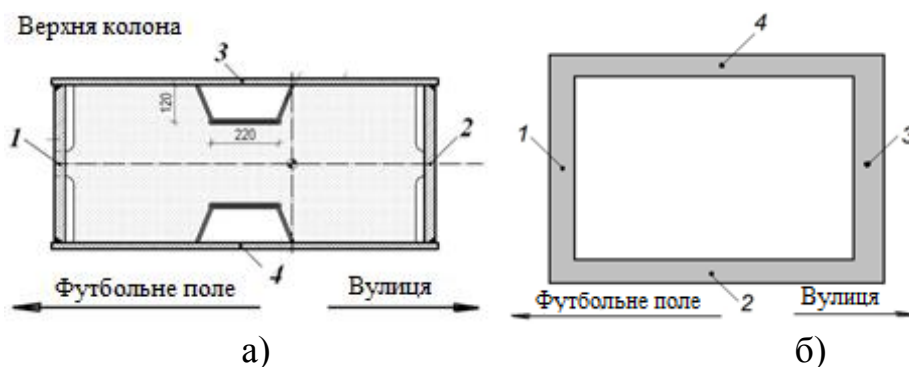
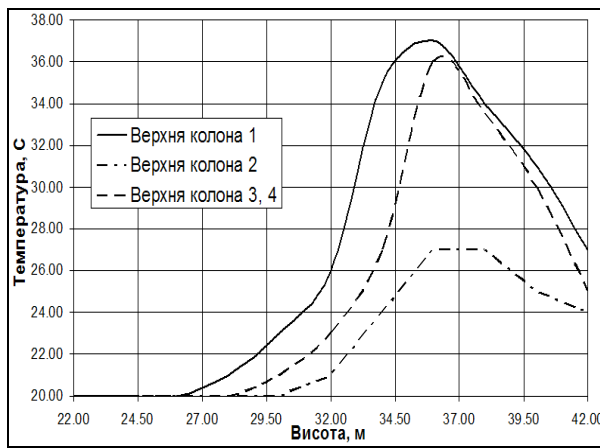
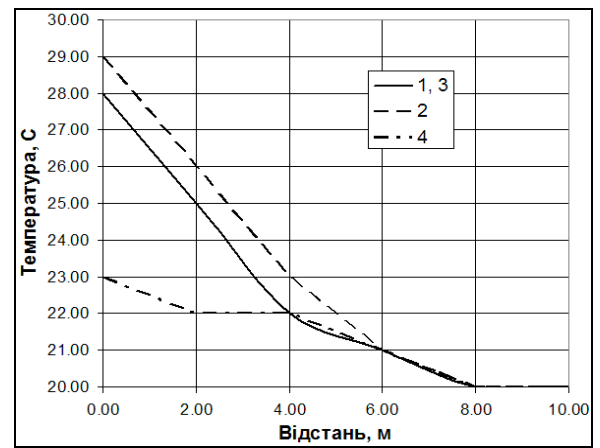


Рисунок П.6 – Переріз колон (а) та кільце навісу (б) з номерами ліній (1-4)

П.1.4.3 На рисунку П.8 для сценарію № 3 (момент часу 150 хв) наведено поле температур в перерізах нижньої та верхньої колон навісу в найбільш нагрітих по висоті колон місцях. На рисунку П.9 для цього ж сценарію і моменту часу надано розподіли температур вздовж ліній 1 – 4 (рисунок П.6) для верхньої та нижньої колон, а також для нижнього кільця.

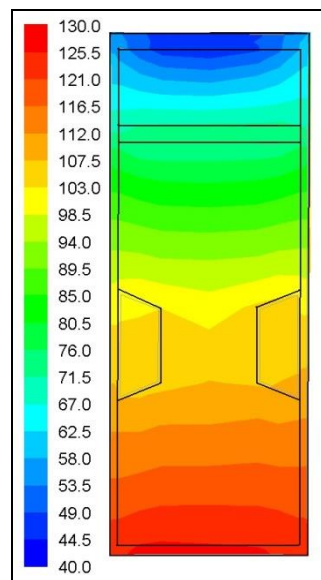


а)

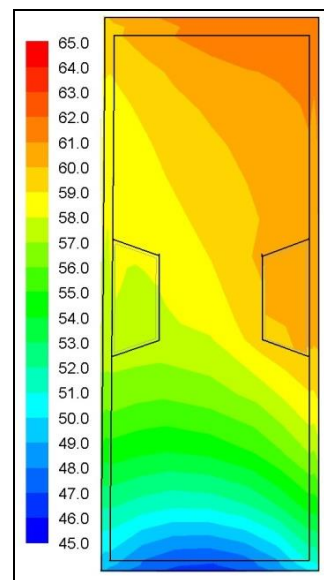


б)

Рисунок П.7 – Розподіли температур вздовж ліній 1 - 4 (рис. П.6) для верхньої колони (а) та для верхнього кільця (б) для сценарію № 1

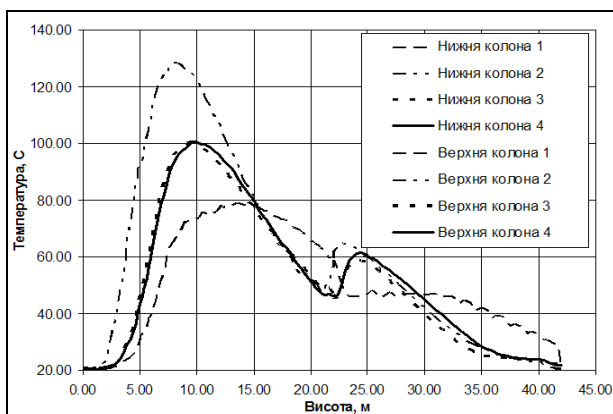


а)

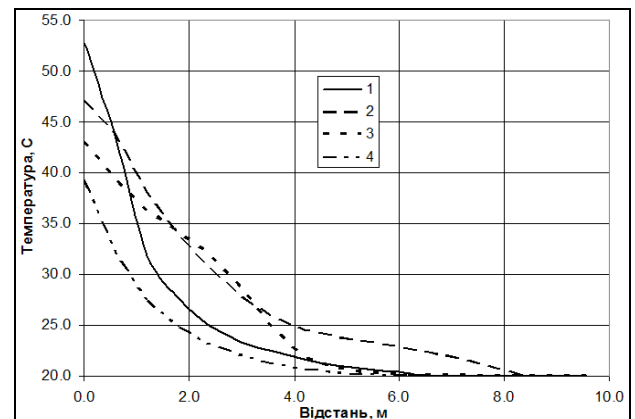


б)

Рисунок П.8 – Поле температур в перерізах нижньої (а) та верхньої (б) колон навісу для сценарію № 3



а)



б)

Рисунок П.9 – Розподіли температур вздовж ліній 1- 4 (рис. П.6) для верхньої та нижньої колон (а), а також для нижнього кільця (б) для сценарію № 3

П.1.4.4 Із аналізу температурних полів випливає, що максимальні значення температури та перепаду температури для конструкції навісу складають: 37 °С та 10 °С – для сценарію № 1; 37 °С та 13 °С – для сценарію № 2; 128 °С та 62 °С – для сценарію № 3.

П.1.4.5 Отримані поля температур в колонах та кільцях навісу було використано для розрахунків напружень та деформацій конструкції навісу трибуни, за результатами яких визначено, що для заданих сценаріїв пожежі вогнестійкість цієї конструкції забезпечується і нема потреби щодо застосування для металевих конструкцій навісу вогнезахисного оброблення.

П.2 Розрахунок сталеві балки з поперечним перерізом Класу 4 на вогнестійкість спрощеним методом

П.2.1 Вихідні дані

П.2.1.1 Для сталеві балки з поперечним перерізом Класу 4 і коефіцієнтом перерізу $A_p / V = 100 \text{ м}^{-1}$, на поверхню якої нанесено вогнезахисний матеріал (далі – покриття), що спучується, визначають мінімальну товщину цього покриття, за якої забезпечується нормована вогнестійкість R 45.

П.2.1.2 Теплофізичні властивості зазначеного покриття визначено за методом, який наведено в додатку Л ДСТУ Б В.1.1-17 (методом розв'язання оберненої задачі теплопровідності). Залежність теплопровідності покриття від температури наведено на рисунку П.10, а значення його питомої теплоємності становить $c_p \cdot \rho_p = 0,658 \text{ МДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$.

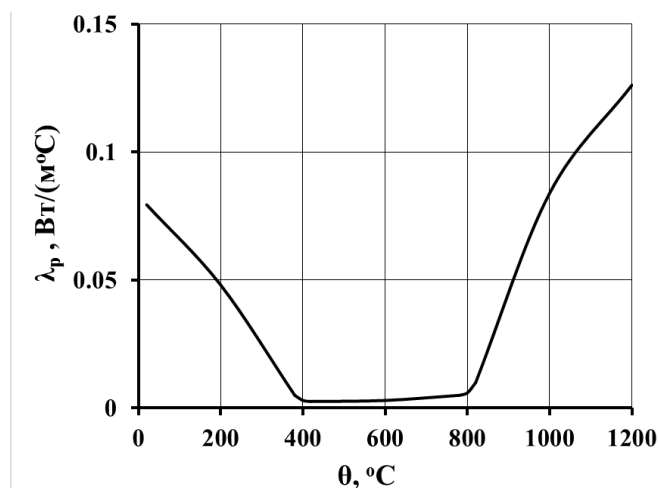


Рисунок П.10 – Залежність теплопровідності покриття від температури

П.2.2 Розрахунок

П.2.2.1 Відповідно до 6.6.2.3.6.1 цього стандарту для конструкцій з поперечними перерізами Класу 4, окрім тих, що працюють на розтяг, можна припустити, що умова (24) забезпечена, якщо в момент часу $t_{fi,requ}$ температура сталі θ_a в усіх поперечних перерізах не перевищує 350 °С.

П.2.2.2 Враховуючи це положення, постановку завдання щодо визначення мінімальної товщини покриття d_{Pmin} можна сформулювати таким чином. Для балки, яка має коефіцієнт перерізу $A_m / V = 100 \text{ м}^{-1}$, необхідно визначити таке значення товщини d_{Pmin} покриття, за якого для часу $t_{fi,requ} = 45 \text{ хв}$ температура сталі $\theta_a = 350 \text{ °С}$ для рівномірного розподілу температури в конструкції.

П.2.2.3 Для розрахунків температури сталі для рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі захищеної сталеві балки застосовували таку систему рівнянь (наведена в додатку Л ДСТУ Б В.1.1-17):

$$c_p \rho_p \frac{\partial \theta_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} \right), \quad (\text{П.1})$$

$$0 < x < d_p; \quad \theta_p = \theta_p(x, t); \quad 0 < t < t_{fi,requ},$$

$$\text{– початкова умова: } \theta_p(x, 0) = \theta_0, \quad (\text{П.2})$$

– гранична умова на обігрівній поверхні покриття, при $x = d_p$:

$$\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} = \alpha^* (\theta_{g,t} - \theta_m), \quad (\text{П.3})$$

$$\text{де } \alpha^* = \alpha_c + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma [(\theta_{g,t} + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] / (\theta_{g,t} - \theta_m), \quad (\text{П.4}),$$

– гранична умова на внутрішній поверхні покриття, при $x = 0$:

$$\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} = c_a \rho_a \frac{V}{A_p} \frac{\partial \theta_p}{\partial t}, \quad (\text{П.5})$$

$$\theta_a(t) = \theta_p(0, t), \quad (\text{П.6})$$

де x – координата в покритті ($x = 0$ відповідає місцю контакту покриття зі сталевією поверхнею), м;

t – час, с;

$t_{fi,requ}$ – час, який відповідає нормованій межі вогнестійкості, $t_{fi,requ} = 45 \text{ хв}$;

α_c – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією на обігрівній поверхні покриття,

$\alpha_c = 25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$;

α^* – сумарний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією та тепловою радіацією на обігрівній поверхні покриття, Вт/(м·К);

Φ – кутовий коефіцієнт, $\Phi = 1,0$;

ε_m – коефіцієнт теплового випромінювання обігрівної поверхні покриття, $\varepsilon_m = 0,8$;

ε_f – коефіцієнт теплового випромінювання полум'я, $\varepsilon_f = 1,0$;

σ – стала Стефана Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴);

θ_a – температура сталі, °С;

$\theta_{g,t}$ – температура газового середовища в момент часу t , яка змінюється за стандартним температурним режимом (7), °С;

θ_m – температура обігрівної поверхні покриття, °С;

θ_0 – початкова температура, $\theta_0 = 20$ °С;

θ_p – температура покриття, °С;

λ_p – теплопровідність покриття, Вт/(м·К);

c_a – питома теплоємність сталі відповідно до 6.5.3.1.2, Дж/(кг·К);

c_p – питома теплоємність покриття, Дж/(кг·К);

ρ_p – густина покриття, кг/м³;

ρ_a – густина сталі, $\rho_a = 7850$ кг/м³;

A_p / V – коефіцієнт перерізу захищеної сталевий балки, м⁻¹.

П.2.2.4 Розрахунки температури сталі за даною математичною моделлю були виконані із застосуванням чисельного методу розв'язання за неявною кінцево-різницевою схемою апроксимації.

П.2.2.5 За результатами проведених розрахунків температури сталі для часу $t_{fi,requ} = 45$ хв за різних товщин покриття визначено, що значення мінімальної товщини d_{pmin} покриття, за якого для сталевий балки з поперечним перерізом Класу 4 і коефіцієнтом перерізу $A_p / V = 100$ м⁻¹ забезпечується нормована вогнестійкість R 45, становить 1,03 мм.

П.3 Розрахунок нерівномірного розподілу температури в поперечному перерізі сталевій балки

П.3.1 Вихідні дані

П.3.1.1 Для сталевій балки (двотавр №35Б1 за ГОСТ 26020-83), на яку опирається залізобетонна плита перекриття завтовшки 120 мм (див. рисунок П.11), визначають нерівномірний розподіл температури в її поперечному перерізі для часу 60 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом для таких варіантів:

- незахищена сталеві балка;
- захищена сталеві балка, на поверхню якої нанесено вогнезахисний матеріал (далі – покриття) завтовшки 10 мм;
- захищена сталеві балка з покриттям завтовшки 15 мм;
- захищена сталеві балка з покриттям завтовшки 20 мм.

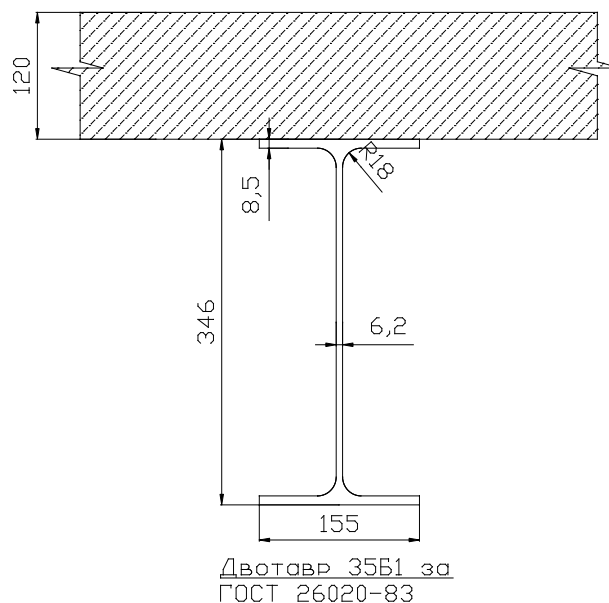


Рисунок П.11 – Схема конструкції, що складається зі сталевій балки, на яку опирається бетонна плита перекриття

П.3.1.2 Теплофізичні властивості зазначеного покриття визначено за методом, який наведено в додатку Л ДСТУ Б В.1.1-17 (методом розв'язання оберненої задачі теплопровідності). Залежності теплопровідності λ_p та питомої об'ємної теплоємності c_p ρ_p покриття від температури наведено на рисунку П.12.

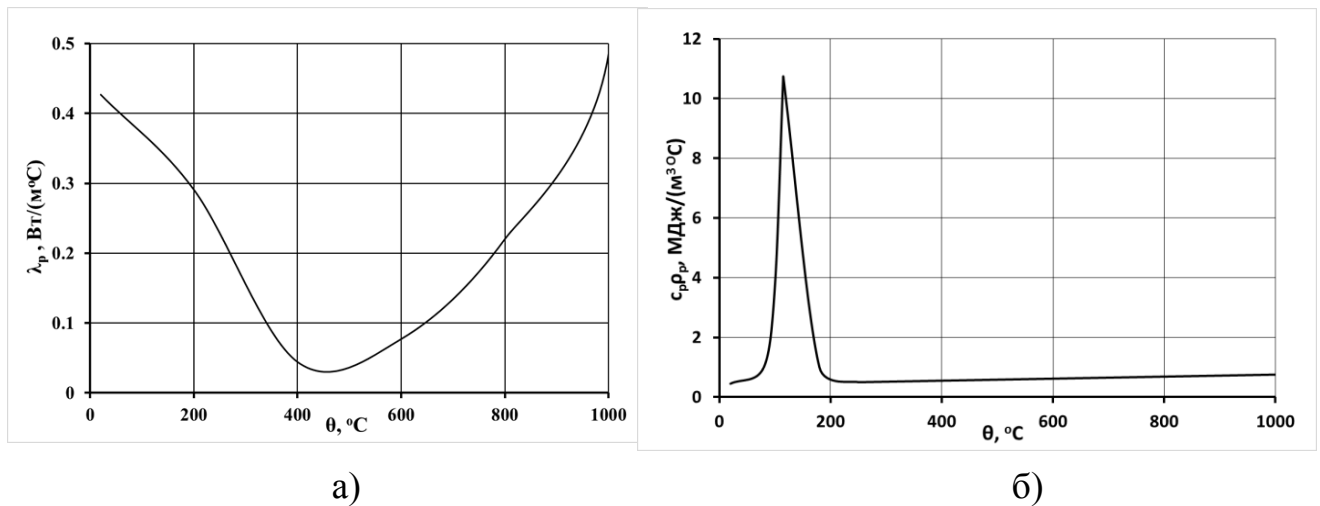


Рисунок П.12 – Залежності теплопровідності (а) та питомої об'ємної теплоємності (б) покриття від температури

П.3.2 Розрахунок

П.3.2.1 Для розрахунків нерівномірних розподілів температури в поперечному перерізі сталевій балки для часу 60 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом для зазначених в П.3.1.1 варіантів застосовували математичну модель нестационарної теплопровідності, яка враховує радіаційно-конвективний теплообмін від газового середовища до обігрівних поверхней балки та плити перекриття, кондуктивний теплообмін у цих конструкціях та радіаційно-конвективний теплообмін від плити перекриття в навколишнє середовище з боку її поверхні, що не обігрівається. Зазначена модель містить рівняння, аналогічні П.1 – П.3, які наведені для сталевій балки та плити перекриття для двохмірної постановки теплотехнічної задачі.

П.3.2.2 Розрахунки нерівномірних розподілів температури в поперечному перерізі сталевій балки проводилися із застосуванням комп'ютерної програми ANSYS FLUENT. Розрахункова сітка моделі мала близько 40 тисяч розрахункових елементів. При розрахунках теплофізичні властивості матеріалів задавались у вигляді залежностей від температури, наведених у п. 6.5.3.1 цього стандарту (для сталі) та в п. 6.3 ДСТУ-Н Б В.2.6-197 (для бетону). Для бетону приймали вологість 3 %, густину за температури 20°C $2300 \text{ кг}/\text{м}^3$, змінення теплопровідності за верхньою граничною кривою.

П.3.2.3 Розрахункові розподіли температури в поперечному перерізі сталевий балки та плити перекриття для часу 60 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом для зазначених в П.3.1.1 варіантів наведені на рисунку П.13. На рисунку П.14 для цих же варіантів і моменту часу показано змінення температури сталі по висоті балки.

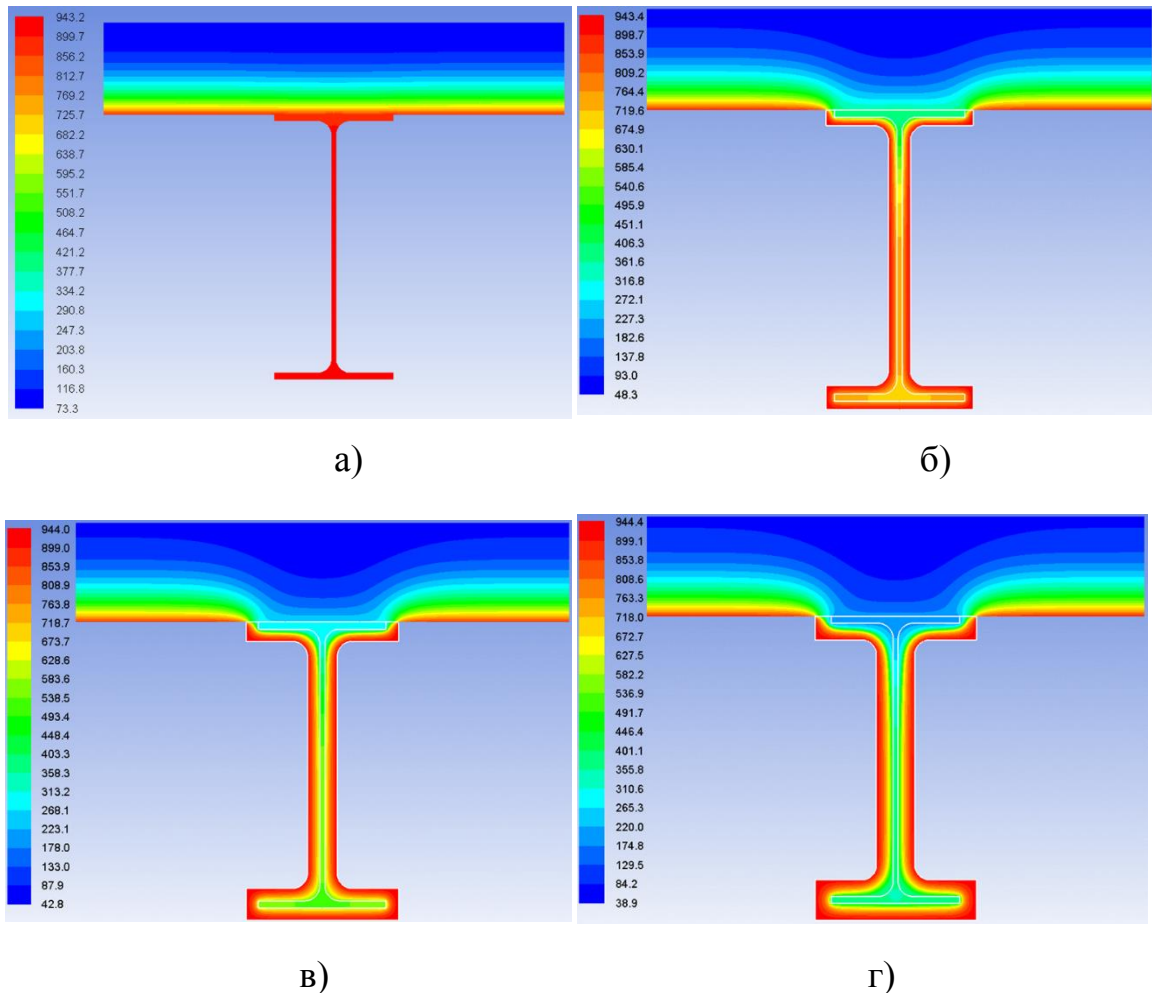


Рисунок П.13 – Розподіли температури в поперечному перерізі плити перекриття та незахищеної сталевोї балки (а), захищеної сталевोї балки з покриттям завтовшки 10 мм (б), 15 мм (в), 20 мм (г)

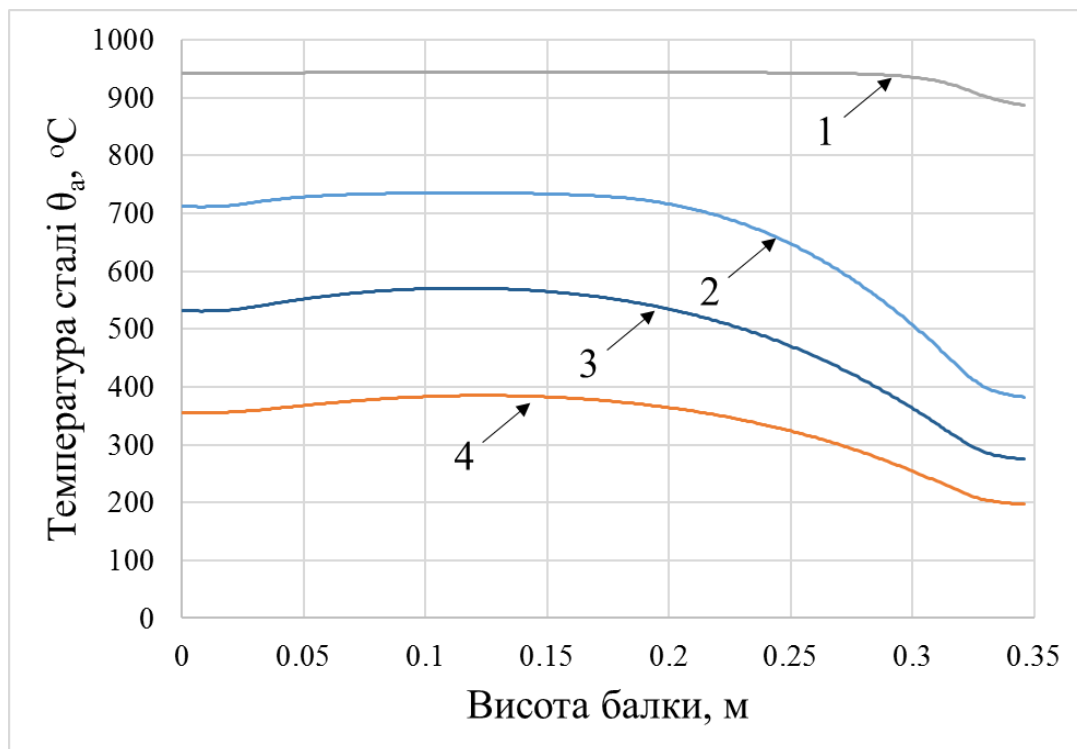


Рисунок П.14 – Змінення температури сталі по висоті балки: 1 – для незахищеної сталеві балки; 2, 3, 4 – для захищеної сталеві балки з покриттям завтовшки 10 мм, 15 мм та 20 мм

П.4 Розрахунок сталеві балки на вогнестійкість спрощеним методом

П.4.1 Вихідні дані [10]:

Плита залізобетонна – 120 мм, (густина бетону за температури 20 °C $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$, вологість бетону – 3 %); балка зі сталі С255 ($R_{yn} = 245 \text{ МПа}$, $R_{un} = 370 \text{ МПа}$ за ГОСТ 27772).

Розрахункова міцність сталі на розтяг $R_y = R_{yn}/\gamma_m = 245/1,025 = 239 \text{ МПа}$;

Розрахункова міцність сталі на розтяг за тимчасовим опором $R_u = R_{un}/\gamma_m = 370/1,025 = 361 \text{ МПа}$.

Тимчасове технологічне характеристичне навантаження – 24 кН/м².

Клас відповідальності будівлі СС1 – $\gamma_n = 0,95$.

Нормована вогнестійкість сталеві балки – R 60.

Схема розташування балок перекриття показана на рисунку П.15.

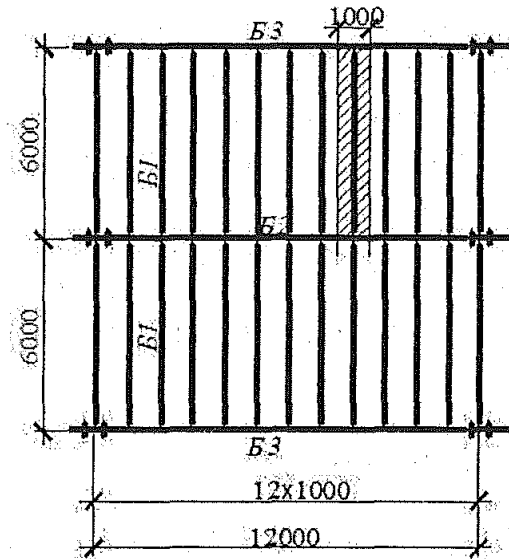


Рисунок П.15 – Схема компонування балкової клітки перекриття

П.4.2 Виконуємо збір навантаження на 1 м² перекриття (див. табл. П.1).

Таблиця П.1 – Навантаження на 1 м² перекриття

№ п/п	Навантаження	Характеристичне, кН/м ²	Коефіцієнт надійності навантаженням, γ_{fn}	Розрахункове за граничне, кН/м ²
1	Постійне: З/б плита – 120 мм 0,12×2,3×9,81	2,708	1,1	2,98
2	Змінне: Короткочасне	24	1,2	28,8
3	Разом	26,708		31,78
4	З урахуванням коефіцієнта надійності за відповідальністю $\gamma_n=0,95$	$p_e = 25,37$		$p = 30,19$

П.4.3 Визначаємо розрахункове експлуатаційне і розрахункове граничне значення розподіленого навантаження на балку Б1:

$$q_{e1} = p_e \cdot a = 25,37 \cdot 1,0 = 25,37 \text{ кН/м};$$

$$q_1 = p \cdot a = 30,19 \cdot 1,0 = 30,19 \text{ кН/м}.$$

П.4.4 Максимальні експлуатаційний і граничний розрахунковий моменти в балці:

$$M_e = \frac{q_{e1} \cdot l_1^2}{8} = \frac{25,37 \cdot 6^2}{8} = 114,18 \text{ кНм}; \quad M = \frac{q_1 \cdot l_1^2}{8} = \frac{30,19 \cdot 6^2}{8} = 135,855 \text{ кНм}.$$

П.4.5 Необхідний момент опору перерізу балки з урахуванням розвитку пластичних деформацій становить:

$$W_{x,cal} = \frac{M}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{135,855 \cdot 10^6}{239 \cdot 1,1 \cdot 10^3} = 516,8 \text{ см}^3,$$

де $R_y = 239$ МПа для фасонного прокату зі сталі С255 при товщині 11...20 мм; $\gamma_c = 1,1$ (див. табл. 5.1 ДБН В.2.6-198).

П.4.6 Необхідний момент інерції перерізу балки становить:

$$I_{x,cal} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_e \cdot l_1}{E} \cdot \left(\frac{l}{f} \right) = \frac{5}{48} \cdot \frac{114,2 \cdot 10^6 \cdot 6000}{2,06 \cdot 10^5 \cdot 10^4} \cdot 250 = 8662,015 \text{ см}^4.$$

П.4.7 За отриманими значеннями моменту опору і моменту інерції перерізу балки приймаємо двотавр №35Б1 (ГОСТ 26020) з такими геометричними характеристиками і розмірами: $W_x = 581,7 \text{ см}^3 > W_{x,cal}$, $S_x = 328,6 \text{ см}^3$, $I_x = 10060 \text{ см}^4 > I_{x,cal}$, $t_f = 8,5$ мм, $t_w = 6,2$ мм, $b = 155$ мм, $A = 49,53 \text{ см}^2$, маса 1 м балки $g_l = 38,9$ кг.

Висота стінки $h_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 346 - 2 \cdot 8,5 - 2 \cdot 18 = 293$ мм.

Уточнимо навантаження і зусилля в балці з урахуванням її ваги:

$$q_{e1} = p_e \cdot a + g_{e1} = 25,37 \cdot 1,0 + 0,0389 \cdot 9,81 = 25,75 \text{ кН/м};$$

$$q_1 = p \cdot a + g_1 = 30,19 \cdot 1,0 + 0,0389 \cdot 9,81 \cdot 1,05 = 30,59 \text{ кН/м};$$

$$M_e = \frac{q_{e1} \cdot l_1^2}{8} = \frac{25,75 \cdot 6^2}{8} = 115,875 \text{ кНм};$$

$$M = \frac{q_1 \cdot l_1^2}{8} = \frac{30,59 \cdot 6^2}{8} = 137,655 \text{ кНм}.$$

П.4.8 Перевіримо підібраний двотавр за умовою (9.1) ДБН В.2.6-198:

$$\frac{M}{W_{n,min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{137,655 \cdot 10^6}{581,7 \cdot 239 \cdot 1,1 \cdot 10^3} = 0,90 < 1;$$

П.4.9 Перевіримо дотичні напруження в перерізі балки на опорі за умовою (9.2) ДБН В.2.6-198

$$\frac{Q \cdot S_x}{I_n \cdot t_w \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{91,77 \cdot 10^3 \cdot 328,6 \cdot 10^3}{10060 \cdot 10^4 \cdot 6,2 \cdot 239 \cdot 1,1} = 0,184 < 1;$$

$$\text{де } Q = \frac{q_1 \cdot l_1}{2} = \frac{30,59 \cdot 6}{2} = 91,77 \text{ кН}.$$

Оскільки $I_x > I_{x,cal}$, перевірку жорсткості балки не виконуємо.

Таким чином, міцність і жорсткість балки забезпечена.

П.4.10 Коефіцієнти поперечного перерізу балки:

$$A_m/V = \frac{(1,5b + h - t_w)}{[(b - t_w)t_f + 0,5 \cdot h \cdot t_w]} = \frac{(1,5 \cdot 155 + 346 - 6,2)}{[(155 - 6,2) \cdot 8,5 + 0,5 \cdot 346 \cdot 6,2]} = 244,8 \text{ м}^{-1};$$

$$[A_m/V]_b = \frac{(0,5b + h)}{[(b - t_w)t_f + 0,5 \cdot h \cdot t_w]} = \frac{(0,5 \cdot 155 + 346)}{[(155 - 6,2) \cdot 8,5 + 0,5 \cdot 346 \cdot 6,2]} = 181,2 \text{ м}^{-1}.$$

П.4.11 Температура балки для часу 60 хвилин вогневого впливу за стандартним температурним режимом.

Приріст температури сталі $\Delta\theta_{a,t}$ для розрахункового рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі незахищеної сталевій балки за проміжок часу Δt визначали за формулою (53) цього стандарту:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t,$$

де k_{sh} – коригувальний коефіцієнт ефекту затінення.

Для перерізу двотавра №35Б1 визначається за формулою (53):

$$k_{sh} = 0,9 [A_m/V]_b / [A_m/V] = 0,9 \cdot 181,2 / 244,8 = 0,66$$

Розрахунки температури сталі для рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі захищеної сталевій балки виконували таким же чином, як і в прикладі П.2, із застосуванням положень П.2.2.3 та П.2.2.4. Теплофізичні властивості вогнезахисного матеріалу (далі – покриття), які застосовували при розрахунках, наведені на рисунку П.12.

На рисунку П.15 наведено отримані розрахункові залежності температури сталі від часу вогневого впливу для незахищеної сталевій балки та захищеної сталевій балки з покриттям завтовшки 10 мм, 15 мм та 20 мм. Значення розрахункової температури для часу 60 хвилин вогневого впливу для незахищеної сталевій балки становить 937 °С, для захищеної сталевій балки: 703 °С – при товщині покриття 10 мм, 520 °С – при товщині покриття 15 мм, 366 °С – при товщині покриття 20 мм.

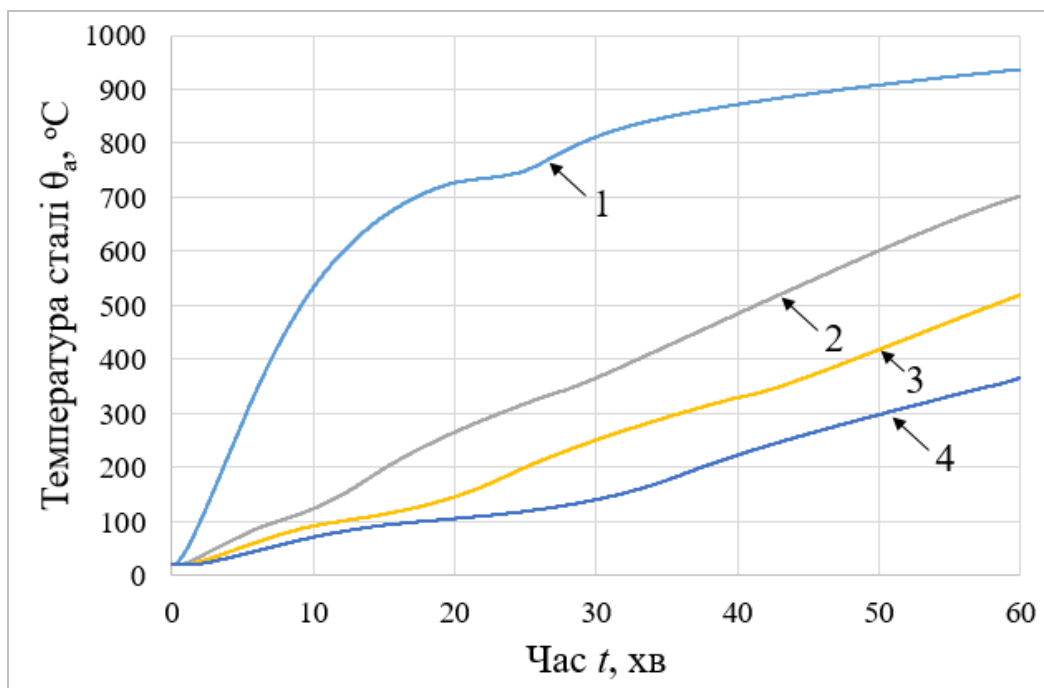


Рисунок П.16 – Залежності температури сталі від часу вогневого впливу:

1 – для незахищеної сталеві балки; 2, 3, 4 – для захищеної сталеві балки з покриттям завтовшки 10 мм, 15 мм та 20 мм відповідно

П.4.12 Коефіцієнт зниження навантаження під час пожежі:

$$\eta_{fi} = \frac{2,708 + 0,8 \cdot 24}{1,1 \cdot 2,708 + 1,2 \cdot 24} = 0,689;$$

Зусилля в балці за умов пожежі:

$$\text{згинальний момент } M_{fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,689 \cdot 137,655 = 94,84 \text{ кНм};$$

$$\text{поперечна сила } M_{fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,689 \cdot 91,77 = 63,23 \text{ кН}.$$

П.4.13 Класифікація поперечного перерізу балки:

$$\varepsilon = 0,85 \cdot \sqrt{235/239} = 0,843$$

$$\text{перевірка місцевої втрати стійкості стінки } h_w/t_w = 293/6,2 = 47,258 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,843 = 60,7;$$

$$\text{перевірка місцевої втрати стійкості звиса полиці } ((b - t_w)/2 - r)/t_f = ((155 - 6,2)/2 - 18)/8,5 = 6,64 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,843 = 7,6.$$

Переріз двотавра №35Б1 можна віднести до Класу 1.

П.4.14 Несуча здатність балки для часу 60 хв. вогневого впливу

$$M_{b,fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} [\gamma_{M,0}/\gamma_{M,fi}] M_{Rd} = 0,0526 \cdot [1,0/1,0] \cdot 139,03 = 7,24 \text{ кНм} < M_{fi,Ed} = 94,84 \text{ кНм};$$

де $k_{y,\theta} = 0,0526$ (для $\theta_a = 937$ °C, див. рис. П.16) – коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури θ_a в момент часу t (табл. 1); $\gamma_{M,0} = 1,0$, $\gamma_{M,fi} = 1,0$,

$$M_{Rd} = \frac{W_x \cdot R_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{581,7 \cdot 239 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 139,03 \text{ кНм.}$$

Несуча здатність балки в умовах вогневого впливу тривалістю 60 хвилин не забезпечена.

П.4.15 Визначення критичної температури сталі за формулою (49):

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot 0,682^{3,833}} - 1 \right] + 482 = 531 \text{ °C,}$$

$$\text{де } \mu_0 = E_{fi,d}/R_{fi,d,0} = 94,84/139,03 = 0,682.$$

Отже критична температура сталі балки становить $\theta_{a,cr} = 531$ °C (див. таблицю 2).

П.4.16 З порівняння критичної температури сталі з розрахунковими значеннями температури сталі, наведеними в П.4.11 для захищеної балки і часу вогневого впливу тривалістю 60 хв, випливає, що нормована вогнестійкість балки R60 забезпечується при товщині покриття 15 мм (520 °C < $\theta_{a,cr}$) та 20 мм (366 °C < $\theta_{a,cr}$). Товщина покриття 10 мм недостатня для забезпечення вогнестійкості балки, оскільки 703 °C > $\theta_{a,cr}$.

П.5 Розрахунок критичної температури сталі колони

П.5.1 Вихідні дані [11]: розміри профіля колони – 305×305×118 мм; висота колони – 4,2 м між двома перекриттями; колона середнього поверху. Марка сталі С275.

П.5.2 Навантаження на колону: постійне – 1000 кН; короткочасне – 1200 кН.

П.5.3 Гнучкість колони для граничного стану в умовах пожежі

Розрахункова довжина колони для граничного стану за ознакою втрати несучої здатності в умовах пожежі становить $L_{e,fi} = 0,5 \times 4,2 = 2,1$ м; значення критичної Ейлерової сили визначаємо за формулою:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{e,fi}^2} = \frac{3,14^2 \cdot 205 \cdot 90590}{2,1^2} / 100 = 41562 \text{ кН.}$$

Несуча здатність колони за нормальної температури:

$$N_u = f_y \cdot A = 0,275 \times 15000 = 4125 \text{ кН.}$$

Гнучкість колони за нормальної температури:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}} = 0,315.$$

П.5.4 Критична температура сталі колони

Коефіцієнт сполучення для короткочасного навантаження в умовах пожежі становить 0,8, навантаження на колону складає:

$$N_{b,fi,t,Rd} = 1000 + 0,8 \times 1200 = 1960 \text{ кН.}$$

Коефіцієнт зниження границі текучості сталі за температури визначаємо за формулою (28):

$$k_{y,\theta} = N_{b,fi,t,Rd} / (\chi_{fi} A f_y / \gamma_{M,fi}) = 1960 / (0,796 \times 4125 / 1,0) = 0,597,$$

де $\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}}$ визначають за формулою (29), $\varphi_{\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2]$,

$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} = 0,65 \sqrt{235 / 275} = 0,601$. Коефіцієнт надійності для сталі в умовах пожежі $\gamma_{M,fi} = 1,00$.

Гнучкість $\bar{\lambda}_{\theta}$ за температури θ_a визначають за формулою (30)

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5}.$$

Приймаємо за спрощеною формулою $\bar{\lambda}_{\theta} = 1,2 \bar{\lambda} = 1,2 \cdot 0,315 = 0,378$.

$$\text{Тоді } \varphi_{\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2] = \frac{1}{2} [1 + 0,601 \cdot 0,378 + 0,378^2] = 0,685,$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} = \frac{1}{0,685 + \sqrt{0,685^2 - 0,378^2}} = 0,796.$$

З урахуванням даних таблиці 1 критична температура сталі колони дорівнює 568 °C.

При такій температурі коефіцієнт зниження для модуля пружності сталі дорівнює 0,403, тоді уточнюємо значення гнучкості колони за температури

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} = 0,315 \cdot [0,597 / 0,403]^{0,5} = 0,383.$$

Уточнюємо значення критичної температури сталі колони:

$$k_{y,\theta} = N_{b,fi,t,Rd} / (\chi_{fi} A f_y / \gamma_{M,fi}) = 1960 / (0,793 \times 4125 / 1,0) = 0,599,$$

$$\text{де } \varphi_{\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2] = \frac{1}{2} [1 + 0,601 \cdot 0,383 + 0,383^2] = 0,689,$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} = \frac{1}{0,689 + \sqrt{0,689^2 - 0,383^2}} = 0,793.$$

Уточнене значення критичної температури сталі колони становить 566 °С. Це значення достатньо близьке до попереднього, і тому воно може бути прийнято за кінцеву критичну температуру сталі колони.