



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 1993-1-2:20__
(EN 1993-1-2:2024, IDT)

**ЄВРОКОД 3. ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ.
ЧАСТИНА 1-2. ПРОТИПОЖЕЖНЕ ПРОЄКТУВАННЯ
КОНСТРУКЦІЙ**

Видання офіційне
(Проект, перша редакція)

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
20__

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301), Товариство з обмеженою відповідальністю «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського»
- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від _____ 201_ р. № ____ з _____ - ____ - ____
- 3 Національний стандарт відповідає EN 1993-1-2:2024 Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-2: Structural fire design (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Протипожежне проектування конструкцій) і внесений з дозволу CENELEC, Rue de la Science 23, B-1040 Brussels, Belgium. Усі права щодо використання європейських стандартів у будь-якій формі й будь-яким способом залишається за CENELEC
Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)
Переклад з англійської (en)
- 4 Цей стандарт розроблено згідно з правилами, установленими в національній стандартизації України
- 5 НА ЗАМІНУ ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 (EN 1993-1-2:2005, IDT)

Право власності на цей національний стандарт належить державі.
Заборонено повністю чи частково видавати, відтворювати задля розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання цей національний стандарт або його частини на будь-яких носіях

ЗМІСТ

	с.
Національний вступ.....	VI
Вступ	VIII
1 Сфера застосування.....	1
1.1 Сфера застосування EN 1993-1-2.....	1
1.2 Припущення.....	2
2 Нормативні посилання.....	2
3 Терміни та визначення понять та умовні позначки	5
3.1 Терміни та визначення понять.....	5
3.2 Умовні позначки	6
4 Основоположні принципи розрахунку.....	17
4.1 Загальні положення.....	17
4.2 Номінальний вогневий вплив.....	18
4.3 Фізично обґрунтований вогневий вплив.....	19
4.4 Чинники впливу.....	19
4.5 Розрахункові значення властивостей матеріалів.....	20
4.6 Методи верифікації.....	20
4.7 Розрахунок конструкцій.....	21
4.8 Розрахунок частини конструкційної системи.....	22
4.9 Розрахунок конструкційної системи в цілому.....	23
5 Властивості матеріалів.....	23
5.1 Загальні положення	23
5.2 Теплові властивості	24
5.3 Механічні властивості	27
6 Табличні дані для розрахунків	33
7 Спрощені методи розрахунку.....	33
7.1 Загальні положення.....	33
7.2 Класифікація поперечних перерізів.....	35
7.3 Ефективна ширина для поперечних перерізів 4 класу....	36
7.4 Опір.....	37
7.5 Критична температура.....	56
7.6 Підвищення температури сталі.....	58
8 Уточнені методи розрахунку.....	68
8.1 Загальні положення.....	68

8.2	Теплотехнічний розрахунок.....	69
8.3	Статичний розрахунок.....	70
8.4	Валідація уточнених методів розрахунку.....	71
Додаток А	Деформаційне зміцнення сталі за підвищених температур	72
		
A.1	Призначення додатка.....	72
A.2	Сфера застосування та обмеження щодо застосовності.....	72
A.3	Залежності між напруженням і подовженням за підвищених температур для конструкційної сталі.....	72
Додаток В	Теплообмін із зовнішніми сталевими конструкціями	76
(обов'язковий)		
B.1	Призначення додатка.....	76
B.2	Сфера застосування та обмеження щодо застосовності.....	
B.3	Загальні положення.....	76
B.4	Колона, не охоплена полум'ям.....	80
B.5	Балка, не охоплена полум'ям.....	88
B.6	Колона, охоплена полум'ям.....	93
B.7	Балка, повністю або частково охоплена полум'ям.....	97
Додаток С	Нержавіюча сталь.....	104
(обов'язковий)		
C.1	Призначення додатка.....	104
C.2	Сфера застосування та обмеження щодо застосовності.....	104
C.3	Теплові властивості.....	104
C.4	Механічні властивості нержавіючої сталі.....	105
C.5	Спрощені моделі розрахунку.....	113
Додаток D	З'єднання	
(обов'язковий)		
D.1	Призначення додатка.....	128
D.2	Сфера застосування та обмеження щодо застосовності.....	128
D.3	Болтові з'єднання.....	128

	D.4 Розрахунковий опір зварних швів.....	131
	D.5 Температура з'єднань під час пожежі.....	131
	D.6 Зварні з'єднання сталевих труб.....	132
Додаток Е (обов'язковий)	Балки з великими отворами в ребрі	
	E.1 Призначення додатка.....	134
	E.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності.....	134
	E.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності.....	134
	E.3 Теплова чутливість.....	134
	E.4 Механічна чутливість.....	
Бібліографія		142
Додаток НА	Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті.....	144

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ EN 1993-1-2_ (EN 1993-1-2:2024, IDT) «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Протипожежне проектування конструкцій», прийнятий методом перекладу, — ідентичний щодо EN 1993-1-2:2024 (версія en) EN 1993-1-2:2024 Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-2: Structural fire design (EN 1993-1-2:2024).

Технічний комітет стандартизації, відповідальний за цей стандарт в Україні, — Технічний комітет стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301).

Цей стандарт прийнято на заміну ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 (EN 1993-1-2:2005, IDT) «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість».

У цьому національному стандарті зазначено вимоги, які відповідають законодавству України.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

— структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Національний вступ», першу сторінку, «Терміни та визначення понять» і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;

— у «Вступі», розділі «Нормативні посилання» та в «Бібліографії» наведено «Національні пояснення», виділені в тексті рамкою;

— вилучено «Передмову» до EN 1993-1-2:2024 як таку, що безпосередньо не стосується технічного змісту цього стандарту;

— додано довідковий додаток НА (Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті).

— європейські стандарти: EN 1990:2023, EN 1993-1-1:2022, EN 1993-1-3:2024, EN 1993-1-5:2024, EN 1993-1-13:2024, EN 1993-1-14 на які є посилання у цьому стандарті, в Україні не прийнято, як національні.

Копії нормативних документів, посилання на які є в цьому стандарті, можна отримати в Національному фонді нормативних документів.

ВСТУП

0.1 Вступ до Єврокодів

До будівельних Єврокодів належать такі стандарти, більшість з яких складаються з ряду частин:

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

- EN 1990, *Eurocode — Basis of structural and Geotechnical design*
- EN 1991, *Eurocode 1 — Actions on structures*
- EN 1992, *Eurocode 2 — Design of concrete structures*
- EN 1993, *Eurocode 3 — Design of steel structures*
- EN 1994, *Eurocode 4 — Design of composite steel and concrete structure*
- EN 1995, *Eurocode 5 — Design of timber structures*
- EN 1996, *Eurocode 6 — Design of masonry structures*
- EN 1997, *Eurocode 7 — Geotechnical design*
- EN 1998, *Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance*
- EN 1999, *Eurocode 9 — Design of aluminium structures*
- New Eurocodes under development, e.g. Eurocode for design of structural glass

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

- EN 1990 Єврокод. Основи будівельного та геотехнічного проектування;
- EN 1991 Єврокод 1. Чинники впливу на конструкції;
- EN 1992 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій;
- EN 1993 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій;
- EN 1994 Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій;
- EN 1995 Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій;
- EN 1996 Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій;
- EN 1997 Єврокод 7. Геотехнічне проектування;
- EN 1998 Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій;
- EN 1999 Єврокод 9. Проектування алюмінієвих конструкцій;
- Розроблюються нові Єврокоди, наприклад, Єврокод щодо проектування скляних конструкцій.

0.2 Вступ до EN 1993 (усі частини)

EN 1993 (усі частини) стосується проектування будівель, а також об'єктів цивільного будівництва, виконаних зі сталі. Він задовольняє принципам та вимогам щодо безпечності й експлуатаційної придатності конструкцій, основоположні принципи щодо проектування та верифі-

кації яких подано в EN 1990 Основи будівельного та геотехнічного проектування.

EN 1993 (усі частини) має стосунок лише до вимог щодо стійкості, експлуатаційної придатності, надійності і вогнестійкості сталевих конструкцій. Інші вимоги, наприклад, щодо теплоізоляції та звукоізоляції, не розглядаються.

EN 1993 складається з таких частин:

EN 1993-1, *Design of Steel Structures — Part 1: General rules and rules for buildings*;

EN 1993-2, *Design of Steel Structures — Part 2: Bridges*;

EN 1993-3, *Design of Steel Structures — Part 3: Towers, masts and chimneys*;

EN 1993-4, *Design of Steel Structures — Part 4: Silos and tanks*;

EN 1993-5, *Design of Steel Structures — Part 5: Piling*;

EN 1993-6, *Design of Steel Structures — Part 6: Crane supporting structures*;

EN 1993-7, *Design of steel structures — Part 7: Sandwich panels*.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1993-1 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1. Загальні правила і правила для будівель;

EN 1993-2 Проектування сталевих конструкцій. Частина 2. Мости;

EN 1993-3 Проектування сталевих конструкцій. Частина 3. Башти, щогли та димові труби

EN 1993-4 Проектування сталевих конструкцій. Частина 4. Силоси та резервуари

EN 1993-5 Проектування сталевих конструкцій. Частина 5. Палі

EN 1993-6 Проектування сталевих конструкцій. Частина 6. Опорні конструкції підйомних кранів

EN 1993-7 Проектування сталевих конструкцій. Частина 7. Сендвіч-панелі

EN 1993-1 сам собою як окремий документ не існує, натомість він складається з таких 14 окремих частин, головною з яких є EN 1993-1-1:

EN 1993-1-1, *Design of Steel Structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings*;

EN 1993-1-2, *Design of Steel Structures — Part 1-2: Structural fire design*;

EN 1993-1-3, *Design of Steel Structures — Part 1-3: Cold-formed members and sheeting*;

NOTE Cold formed hollow sections supplied according to EN 10219 are covered in EN 1993-1-1.

EN 1993-1-4, *Design of Steel Structures — Part 1-4: Stainless steel structures*;

EN 1993-1-5, *Design of Steel Structures — Part 1-5: Plated structural elements*;

EN 1993-1-6, *Design of Steel Structures — Part 1-6: Strength and stability of shell structures*;

EN 1993-1-7, *Design of Steel Structures — Part 1-7: Plate assemblies with elements under transverse loads*;

EN 1993-1-8, *Design of Steel Structures — Part 1-8: Joints*;

EN 1993-1-9, *Design of Steel Structures — Part 1-9: Fatigue*;

EN 1993-1-10, *Design of Steel Structures — Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties*;

EN 1993-1-11, *Design of Steel Structures — Part 1-11: Tension components*;

EN 1993-1-12, *Design of Steel Structures — Part 1-12: Additional rules for steel grades up to S960*;

EN 1993-1-13, *Design of Steel Structures — Part 1-13: Beams with large web openings*;

EN 1993-1-14, *Design of Steel Structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis*.

EN 1993-1-1 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для будівель;

EN 1993-1-2 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість;

EN 1993-1-3 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Конструкції та листи холодного формування;

Примітка. На порожнисті профілі холодного формування, що постачаються згідно з EN 10219, поширюється EN 1993-1-1.

EN 1993-1-4 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-4. Конструкції з нержавіючої сталі;

EN 1993-1-5 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті елементи конструкційних систем;

EN 1993-1-6 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність і стійкість оболонок;

EN 1993-1-7 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті складені конструкції, елементи яких зазнають поперечних навантажень;

EN 1993-1-8 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. З'єднання;

EN 1993-1-9 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-9. Втомна міцність;

EN 1993-1-10 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Характеристики жорсткості та тріщиностійкості матеріалів;

EN 1993-1-11 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Компоненти, які працюють на розтяг;

EN 1993-1-12 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-12. Додаткові правила для сталі марок до S960;

EN 1993-1-13 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-13. Балки з великими отворами в ребрі

EN 1993-1-14 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-14. Проектування із застосування методу скінченних елементів.

Решта частин від EN 1993-1-2 до EN 1993-1-14 стосуються загальних питань, що не залежать від типу конструкційної системи, як-от розрахунок конструкцій на вогнестійкість, конструкції та листи холодного формування, нержавіючі сталі, пластинчасті елементи конструкційних систем тощо.

Решта частин, що мають номери від EN 1993-2 до to EN 1993-7, стосуються питань, пов'язаних з конкретними типами споруд, як-от сталеві мости, башти, щогли та димові труби, силоси та резервуари, палі, опорні конструкційні підйомних кранів тощо. EN 1993-2 — EN 1993-7 стосуються загальних правил, поданих в EN 1993-1, а також доповнюють, змінюють або замінюють їх у міру застосовності.

0.3 Вступ до EN 1991-1-2

EN 1993-1-2 описує принципи, вимоги та правила щодо проектування сталевих будівель, що зазнають вогневого впливу. Основну увагу в EN 1993-1-2 зосереджено на методах і правилах проектування індивідуальних конструкцій (балок, колон, балок-колон), з'єднань і каркасних споруд (каркасів) у частині опору і стійкості під час пожежі.

0.4 Дієслівні форми, вживані в Єврокодах

Дієслово «shall» означає вимогу, якої необхідно суворо дотримуватися і відхилів від якої для забезпечення відповідності Єврокодам не дозволено.

Дієслово «should» означає наполегливо рекомендований вибір або порядок дій, який наполегливо рекомендовано дотримуватися. Залежно від вимог національних нормативних документів та/або положень контракту, можна застосовувати/приймати альтернативні підходи у випадках, коли це технічно виправдано.

Дієслово «may» означає порядок дій, дозволений в рамках Єврокодів.

Дієслово «can» означає можливість і здатність; його вживають для тверджень про факти і тлумачення понять.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

У цьому стандарті дієслову «shall» відповідає слово «необхідно», «should» – «потрібно», «may» – «можна» або «дозволено» залежно від контексту, «can» –

«можна» або відповідні форми дієслова «могти». В окремих випадках, коли дієслова «shall» і «should» описують усталений порядок дій, їх опущено.

0.5 Національний додаток до EN 1993-1-2

Цим стандартом дозволено вибір на національному рівні у випадках, коли це чітко вказано в примітках. Вибір на національному рівні включає в себе вибирання значень для параметрів, що визначаються на національному рівні (NDP).

Національний стандарт, яким впроваджено EN 1993-1-2, може мати національний додаток, в якій викладено всі варіанти вибору на національному рівні, якими потрібно користуватися для проєктування будівель і споруд цивільного призначення, які передбачено збудувати у відповідній країні.

У випадках, коли варіанти вибору на національному рівні не зазначено, потрібно користуватися варіантом вибору, вказаним за умовчанням у цьому стандарті.

У випадках, коли вибір на національному рівні не здійснюється і в цьому стандарті не вказано положення, які приймаються за умовчанням, варіант вибору може зазначати відповідний орган влади або, у випадках, коли його не зазначено, він визначається для конкретного проєкту відповідними сторонами.

Вибирання на національному рівні дозволено примітками до таких пунктів EN 1993-1-2:

4.5 (1) 4.7 (2) 7.5 (2) — 2 варіанти вибору

Вибір на національному рівні дозволено щодо застосування таких довідкових додатків:

Жодного

Національний додаток може містити додаткову інформацію, подану безпосередньо або у формі посилань на інші документи, що не

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

суперечить інформації, поданій у цьому стандарті, для зручності користування ним, за умови що вона не змінює жодних положень Єврокодів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3. ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ. ЧАСТИНА 1-2. ПРОТИПОЖЕЖНЕ ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ

EUROCODE 3 - DESIGN OF STEEL STRUCTURES - PART 1-2:
STRUCTURAL FIRE DESIGN

Чинний від 201_ - ____ - ____

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Сфера застосування EN 1993-1-2

(1) Цей стандарт установлює правила проєктування сталевих конструкцій на випадок надзвичайної ситуації, пов'язаної з вогневим впливом. Ця частина EN 1993 лише встановлює відмінності від вимог щодо проєктування для звичайної температури або доповнює ці вимоги.

(2) Цей стандарт застосовний до сталевих конструкцій, щодо яких встановлено вимоги стосовно виконання несучої функції.

(3) Цей стандарт не встановлює правил щодо огорожувальної функції.

(4) Цей стандарт установлює принципи і правила застосування для проєктування конструкцій із забезпеченням заданих вимог з огляду на вищезазначену несучу функцію та рівні експлуатаційних характеристик.

(5) Цей стандарт застосовний до конструкційних систем або їхніх частин, на які поширюється EN 1993-1-1 та які проєктують відповідним чином.

(6) Цей стандарт розраховано на використання разом з EN 1991-1-2, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-5, EN 1993-1-6,

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

EN 1993-1-7, EN 1993-1-8, EN 1993-1-11, EN 1993-1-13 або EN 1993-1-14.

(7) У цьому стандарті, коли вживають термін «сталь», ідеться про вуглецеву сталь. Нержавіючої сталі стосується тільки додаток С.

1.2 Припущення

(1) Якщо інше не зазначено окремо, то застосовні EN 1990, EN 1991 (усі частини) та EN 1993-1-1.

(2) Методи проєктування, подані в цьому стандарті, застосовні у разі, якщо:

— якість виконання робіт така, як вказано в EN 1090-2 та/або в EN 1090-4; і

— використовувані будівельні матеріали та вироби такі, як вказано в EN 1993-1-1:2022 (таблиці 5.1, 5.2) та в EN 1993-1-3:2024 (таблиці 5.1, 5.2) або в нормативних документах щодо відповідних матеріалів та виробів.

(3) На додаток до загальних припущень, поданих в EN 1990, застосовні такі припущення:

— вибирання належного сценарію проєктної пожежі здійснює персонал з відповідними кваліфікацією і досвідом або ж його вказано у відповідному національному нормативному документі;

— засоби протипожежного захисту, враховані у проєктуванні, піддаватимуть належному технічному обслуговуванню.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У наведених нижче нормативних документах зазначено положення, які через посилання в цьому тексті становлять положення цього стандарту. У разі датованих посилань застосовують тільки

наведені видання. У разі недатованих посилань треба користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

Примітка. Перелік інших документів, посилання на які не є нормативними, включно з тими, на які посилаються як на рекомендовані вимоги (тобто в пунктах з дієсловом «should») і дозволи (тобто в пунктах з дієсловом «may»), подано в розділі «Бібліографія».

EN 1090-2, Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures

EN 1090-4, Execution of steel structures and aluminium structures - Part 4: Technical requirements for cold formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications

EN 1990:2023, Eurocode - Basis of structural and geotechnical design

EN 1991 (all parts), Eurocode 1 - Actions on structures

EN 1991-1-2:2024, Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire

EN 1993-1-1:2022, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings

EN 1993-1-3:2024, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting

EN 1993-1-4, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels

EN 1993-1-5:2024, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-5: Plated structural elements

EN 1993-1-6, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures

EN 1993-1-7, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-7: Plated structures subject to out of plane loading

EN 1993-1-8:2024, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints

EN 1993-1-11, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-11:
Design of structures with tension components

EN 1993-1-13:2024, Eurocode 3 — Design of steel structures - Part
1-13: Beams with large web openings

EN 1993-1-14, Eurocode 3 — Design of steel structures - Part 1-14:
Design assisted by finite element analysis

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1090-2 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 2.
Технічні вимоги до сталевих конструкцій

EN 1090-4 Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 4.
Технічні вимоги до сталевих конструкцій холодного формування, а також
конструкційний систем холодного формування для покриттів, стель, перекриттів і
стін

EN 1990:2023 Єврокод. Основи будівельного та геотехнічного проектування

EN 1991 (усі частини) Єврокод 1. Чинники впливу на конструкції

EN 1991-1-2:2024 Єврокод 1. Чинники впливу на конструкції. Частина 1-2.
Загальні чинники впливу. Чинники впливу на конструкції під час пожежі

EN 1993-1-1:2022 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-
1. Загальні правила і правила для будівель

EN 1993-1-3:2024 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-
3. Загальні правила. Додаткові правила щодо конструкцій та листів холодного
формування

EN 1993-1-4 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-4.
Загальні правила. Додаткові правила щодо нержавіючих сталей

EN 1993-1-5:2024 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-
5. Пластинчасті елементи конструкційних систем

EN 1993-1-6 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6.
Міцність і стійкість конструкцій оболонок;

EN 1993-1-7 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7.
Пластинчасті конструкції, елементи яких зазнають навантажень, що діють поза
межами площини

EN 1993-1-8:2024 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-
8. Проектування з'єднань

EN 1993-1-11 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-11.

Проектування конструкційних систем з компонентами, які працюють на розтяг
 EN 1993-1-13:2024 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-13. Балки з великими отворами в ребрі
 EN 1993-1-14 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-14. Проектування із застосування методу скінчених елементів

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

3.1 Терміни та визначення понять

Для цілей цього стандарту вживають терміни та визначення позначених ними понять, подані EN 1990, EN 1991-1-2, а також такі.

3.1.1 коробчастий коефіцієнт поперечного перерізу (*box value of section factor*)

Співвідношення між площею відкритої поверхні уявного обмежувального короба навколо профілю і об'ємом сталі

3.1.2 критична температура сталевого елемента конструкційної системи (*critical temperature of structural steel element*)

Для заданого рівня навантаження – температура, за якої прогнозується досягнення граничного стану сталевого елемента конструкційної системи, визначена з припущення про рівномірний розподіл температури

3.1.3 ефективна межа текучості (*effective yield strength*)

Рівень напруження за заданої температури, за якого залежність між напруженням і подовженням сталі стає меншою з виходом значення межі текучості на плато

3.1.4 вогнезахисний матеріал (*fire protection material*)

Будь-який матеріал або комбінація матеріалів, які наносять на елемент конструкційної системи з метою підвищення її вогнестійкості

3.1.5 частина конструкційної системи (*part of structure*)

Відокремлена частина конструкційної системи з відповідним кріпленням і граничними умовами

3.1.6 коефіцієнт поперечного перерізу (*section factor*)

Співвідношення між площею відкритої поверхні та об'ємом сталі для сталевих конструкцій, або співвідношення між площею внутрішньої поверхні оболонки навколо будівельної конструкції, що зазнає вогневого впливу, та об'ємом сталі для огороженої конструкції

3.2 Умовні позначки та скорочення

Для цілей цього стандарту застосовують такі умовні позначки.

3.2.1 Великі літери латинської абетки

A_i	площа поперечного перерізу елемента з температурою $\theta_{a,i}$;
A_m	площа поверхні конструкції, яка зазнає вогневого впливу, що припадає на одиницю довжини;
A_m/V	коефіцієнт поперечного перерізу сталевих конструкцій без вогнезахисту;
A_p	площа поверхні вогнезахисного матеріалу, яка зазнає вогневого впливу, що припадає на одиницю довжини конструкції;
A_p/V	коефіцієнт поперечного перерізу для сталевих конструкцій, теплоізованих вогнезахисним матеріалом;
C_i	коефіцієнт захисту i -ї поверхні конструкції;
E_a	модуль пружності сталі для розрахунку за звичайної

температури;

- $E_{a,\theta}$ кут ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності для сталі за підвищеної температури θ_a ;
- E_d розрахунковий результат дії чинників впливу за звичайної температури, визначений згідно з EN 1991-1-1;
- $E_{d,fi}$ розрахунковий результат дії чинників впливу для умов пожежі, визначений згідно з EN 1991-1-2, включно з результатами термічних розширень і деформацій;
- $E_{p0,2,\theta}$ дотичний модуль за $f_{p0,2,\theta}$;
- $F_{b,Rd}$ розрахунковий опір несучої конструкції, що припадає на один болт, згідно з EN 1993-1-8;
- $F_{b,Rd,fi,t}$ розрахунковий опір несучої конструкції, що припадає на один болт, під час пожежі в момент часу t ;
- $F_{v,Rd}$ розрахунковий опір зсуву, що припадає на один болт в площині зсуву, розрахований виходячи з припущення, що площина зсуву проходить через витки різьби болта, згідно з EN 1993-1-8;
- $F_{v,Rd,fi,t}$ розрахунковий опір зсуву, що припадає на один болт в площині зсуву під час пожежі в момент часу t ;
- $F_{w,Rd}$ розрахунковий опір, що припадає на одиницю довжини кутового зварного шва, згідно з EN 1993-1-8;
- $F_{w,Rd,fi,t}$ розрахунковий опір, що припадає на одиницю довжини кутового зварного шва під час пожежі в момент часу t ;
- I_f тепловий потік випромінювання від прорізу;
- I_z тепловий потік випромінювання від полум'я;
- $I_{z,i}$ тепловий потік випромінювання від полум'я в напрямку i -ї

	поверхні колони;
L	системна довжина колони на відповідному поверсі;
L_i	довжина вздовж осі ділянки між прорізом і відповідною точкою;
M	кількість прорізів на боці m ;
$M_{b,Rd,fi,t}$	розрахунковий момент опору згину під час пожежі в момент часу t ;
$M_{c,Rd}$	момент пластичного опору поперечного перерізу брутто $M_{pl,Rd}$ для розрахунку за звичайної температури; момент пружного опору поперечного перерізу брутто $M_{el,Rd}$ для розрахунку за звичайної температури
M_{cr}	критичний момент пружного зусилля для поперечно-крутильного згинання, визначений виходячи з властивостей поперечного перерізу брутто з урахуванням умов прикладання навантаження, фактичного розподілу моменту зусилля та обмежувачів бокового переміщення;
$M_{Rd,fi,t}$	розрахунковий момент опору під час пожежі в момент часу t ;
$M_{Rd,fi,\theta}$	розрахунковий момент опору поперечного перерізу за однорідного розподілу температури θ_a ;
N	кількість прорізів на боці n ;
$M_{b,Rd,fi,t}$	розрахунковий опір згину під час пожежі в момент часу t конструкції, яка працює на стискання;
M_{cr}	критичне пружне осьове зусилля для відповідного режиму згинання, визначене виходячи з властивостей поперечного перерізу брутто з використанням довжини ділянки згину під час пожежі;

$N_{Rd,fi,t}$	розрахунковий опір під час пожежі в момент часу t конструкції, яка працює на розтяг, з неоднорідним розподілом температури в поперечному перерізі;
$N_{Rd,fi,\theta}$	розрахунковий опір конструкції, яка працює на розтяг, з однорідною температурою θ_a ;
$N_{t,Rd}$	розрахунковий опір розтягу поперечного перерізу для розрахунку за звичайної температури згідно з EN 1993-1-1;
$R_{d,fi,t}$	розрахунковий опір під час пожежі в момент часу t ;
$R_{d,fi,0}$	значення $R_{d,fi,t}$ для моменту часу $t = 0$;
T_f	температура в осередку пожежі;
T_m	температура сталевих конструкцій
T_o	температура полум'я в прорізі
T_x	температура полум'я в його верхній частині;
T_z	температура полум'я
$T_{z,1}$	температура полум'я [K] згідно з додатком В EN 1991-1-2:2024 на рівні нижньої площини балки;
$T_{z,2}$	температура полум'я [K] згідно з додатком В EN 1991-1-2:2024 на рівні верхньої площини балки;
V	об'єм конструкції, що припадає на одиницю довжини;
$V_{c,Rd}$	розрахункове значення опору зусиллю зсування для розрахунку за звичайної температури згідно з EN 1993-1-1;
$V_{Rd,fi,t}$	розрахункове значення опору зсуву під час пожежі в момент часу t ;
X_k	характеристичне значення міцності або характеристики деформації (зазвичай f_k або E_k) для розрахунку за звичайної

3.2.2 Малі літери латинської абетки

a_z	коефіцієнт поглинання полум'я;
c_a	питома теплоємність сталі;
c_p	питома теплоємність вогнезахисного матеріалу;
d	ефективний розмір поперечного перерізу;
d_i	ефективний розмір поперечного перерізу i -ї поверхні конструкції;
d_p	товщина вогнезахисного матеріалу;
d_f	товщина вогнезахисного матеріалу ($d_f = 0$ для конструкцій без вогнезахисту);
f	коефіцієнт зміни $\chi_{LT,fi}$;
$f_{p,\theta}$	пропорційне граничне значення для сталі за підвищеної температури θ_a ;
$f_{u,\theta}$	межа міцності за підвищеної температури, що враховує деформаційне зміцнення;
f_y	межа текучості за температури 20 °C;
$f_{y,\theta}$	ефективна межа текучості сталі за підвищеної температури θ_a ;
$f_{y,i}$	номінальна межа текучості f_y елементарної ділянки A_i , яку приймають додатною з боку стискання пластично нейтральної осі та від'ємною з боку розтягування;
h_{eq}	еквівалентна висота прорізу;
$\dot{h}_{net,d}$	розрахункове значення результативного теплового потоку, що

припадає на одиницю площі;

h_z	висота верхньої частини полум'я над нижньою межею балки;
i	позначка поверхні колони: (1), (2), (3) або (4);
$k_{b,\theta}$	коефіцієнт послаблення, визначений для відповідної температури болтів;
k_c	коефіцієнт поправки для розподілу моменту зусилля;
$k_{E,\theta}$	коефіцієнт послаблення для кута ухилу ділянки лінійної пружності за температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t ;
$k_{E,\theta,com}$	коефіцієнт послаблення для кута ухилу ділянки лінійної пружності за максимальної температури сталі $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t ;
$k_{p0,2,\theta}$	коефіцієнт послаблення для 0,2 % умовної межі текучості за температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t ;
k_{sh}	коефіцієнт поправки для ефекту затінення;
$k_{u,\theta}$	коефіцієнт послаблення для межі міцності за температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t ;
k_θ	відносне значення міцності або характеристики деформації сталі за підвищеної температури сталі θ_a ;
$k_{w,\theta}$	коефіцієнт зниження міцності для зварних швів за підвищеної температури;
$k_{y,\theta}$	коефіцієнт послаблення для межі текучості за температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t ;
$k_{y,\theta,com}$	коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за максимальної температури полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t ;

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

$k_{y,\theta,i}$	коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за температури θ_i ;
$k_{y,\theta,\max}$	коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за максимальної температури сталі $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t ;
$k_{y,\theta,web}$	коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за температури сталі θ_{web} ;
k_y	коефіцієнт взаємодії для згину відносно осі у-у;
k_z	коефіцієнт взаємодії для згину відносно осі z-z;
k_{LT}	коефіцієнт взаємодії для поперечно-крутильного згинання
l	довжина за температури 20 °C; відстань від прорізу, виміряна вздовж осі полум'я;
l_{fi}	довжина ділянки колони, що зазнає згину, для проектної пожежі;
s	відстань у горизонтальній площині від центральної лінії колони до стіни протипожежного відсіку;
t	тривалість вогневого впливу;
w_i	ширина прорізу;
z_i	відстань від пластично нейтральної осі до центра ваги елементарної ділянки A_i .

3.2.3 Великі літери грецької абетки

Δt проміжок часу;

time interval;

Δl розширення, спричинене тепловим впливом;

temperature induced expansion;

$\Delta\theta_{a,t}$ підвищення температури сталі, рівномірно розподіленої в поперечному перерізі, упродовж проміжку часу Δt ;

increase of the steel uniform temperature distribution in a cross-section during the time interval Δt ;

$\Delta\theta_{g,t}$ підвищення температури навколишнього газового середовища упродовж проміжку часу Δt .

increase of the ambient gas temperature during the time interval Δt .

3.2.4 Малі літери грецької абетки

α_c коефіцієнт тепловіддачі конвекцією

α_h площа горизонтальних прорізів, віднесена до площі підлоги

α_v площа вертикальних прорізів, віднесена до площі підлоги

δ_{ni} коефіцієнт, що враховує застосування i -го заходу щодо протипожежного захисту

δ_{q1} коефіцієнт, що враховує ризик виникнення пожежі, зумовлений розмірами відсіку

δ_{q2} коефіцієнт, що враховує ризик виникнення пожежі, зумовлений призначення приміщення

ε_m коефіцієнт теплового випромінювання поверхні конструкції

ε_f коефіцієнт теплового випромінювання полум'я, вогню

η_{fi} коефіцієнт послаблення

$\eta_{fi,t}$ величина навантаження для розрахунків на вогнестійкість

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

λ	коефіцієнт теплопровідності
ρ	густина
ρ_g	густина внутрішнього газового середовища
σ	Стала Стефана — Больцмана ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [Вт/(м}^2\text{K}^4\text{)]}$)
τ_f	тривалість вільного розвитку пожежі
ψ_0	коефіцієнт комбінування, застосовуваний до змінного чинника впливу з метою визначення його комбінованого значення
ψ_1	коефіцієнт комбінування, застосовуваний до змінного чинника впливу з метою визначення його часто повторюваного значення
ψ_2	коефіцієнт комбінування, застосовуваний до змінного чинника впливу з метою визначення його квазісталого значення
α	коефіцієнт неоднорідності для згину в результаті згинання;
α_c	коефіцієнт тепловіддачі конвекцією;
α_{LT}	коефіцієнт неоднорідності для поперечно-крутильного згину;
β_M	еквівалентні однорідні коефіцієнти моменту зусилля;
γ_{M0}	парціальний коефіцієнт для опору поперечних перерізів за звичайної температури;
γ_{M2}	парціальний коефіцієнт за звичайної температури;
$\gamma_{M,fi}$	парціальний коефіцієнт для відповідної властивості матеріалу під час пожежі;
ε	параметр матеріалу, що залежить від f_y , за звичайної температури;

ε_f	коефіцієнт теплового випромінювання полум'я; коефіцієнт теплового випромінювання прорізу;
ε_{fi}	параметр матеріалу, що залежить від f_y , під час пожежі;
ε_m	коефіцієнт теплового випромінювання поверхні конструкції;
ε_z	коефіцієнт теплового випромінювання полум'я;
$\varepsilon_{z,m}$	повний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я з боку m;
$\varepsilon_{z,n}$	повний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я з боку n;
ε_θ	подовження за температури сталі θ_a ;
η_{fi}	коефіцієнт послаблення, на який множать E_d , аби визначити $E_{d,fi}$;
θ	температура;
θ_a	температура сталі;
$\theta_{a,cr}$	критична температура сталі;
$\theta_{g,t}$	температура навколишнього газового середовища в момент часу t ;
θ_{web}	середня температура в ребрі профілю;
$\theta_{a,i}$	температура на елементарній ділянці A_i ;
κ_1	коефіцієнт перерахунку для нерівномірного розподілу температури в поперечному перерізі;
κ_2	коефіцієнт перерахунку для нерівномірного розподілу температури за довжиною балки;
λ	коефіцієнт теплопровідності;
λ_i	найширша частина полум'я для i -го прорізу;

$\bar{\lambda}$	відносна гнучкість для згину в результаті згинання;
$\bar{\lambda}_{\theta}$	відносна гнучкість для згину в результаті згинання за температури сталі θ_a ;
$\bar{\lambda}_{LT}$	відносна гнучкість для поперечно-крутильного згинання;
$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}$	відносна гнучкість для поперечно-крутильного згинання за максимальної температури полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$;
$\bar{\lambda}_{p,\theta}$	відносна гнучкість для згинання пластин рівних конструкцій за температури сталі θ_a ;
λ_p	коефіцієнт теплопровідності системи вогнезахисту;
λ_f	ефективний коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного матеріалу;
μ_0	коефіцієнт використання в момент часу $t = 0$;
σ	стала Стефана — Больцмана;
σ_{θ}	напруження за температури сталі θ_a ;
ρ_a	густина сталі;
ρ_p	густина вогнезахисного матеріалу;
ϕ_f	загальний кутовий коефіцієнт конструкції для теплообміну випромінюванням від прорізу;
$\phi_{f,i}$	кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для прорізу;
ϕ_z	загальний кутовий коефіцієнт конструкції для теплообміну випромінюванням від полум'я;
$\phi_{z,i}$	кутовий коефіцієнт i -ї поверхні конструкції для полум'я;
$\phi_{z,m}$	загальний кутовий коефіцієнт колони для теплоти, що надходить від полум'я на боці m ;

$\phi_{z,n}$	загальний кутовий коефіцієнт колони для теплоти, що надходить від полум'я на боці n;
χ_{fi}	коефіцієнт послаблення для згину в результаті згинання під час проектної пожежі;
$\chi_{LT,fi}$	коефіцієнт послаблення для поперечно-крутильного згинання під час проектної пожежі;
$\chi_{LT,fi,mod}$	модифікований коефіцієнт послаблення для поперечно-крутильного згинання;
$\chi_{min,fi}$	мінімальне значення $\chi_{y,fi}$ та $\chi_{z,fi}$;
$\chi_{y,fi}$	коефіцієнт послаблення для згину в результаті згинання вздовж осі y під час пожежі;
$\chi_{z,fi}$	коефіцієнт послаблення для згину в результаті згинання вздовж осі z під час пожежі.

4 ОСНОВОПОЛОЖНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ

4.1 Загальні положення

(1) Розрахунок конструкцій на вогнестійкість потрібно виконувати з дотриманням загальних правил, викладених в EN 1990 та EN 1991 (усі частини), а також специфічних положень, що стосуються сталевих конструкцій, поданих в EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-5, EN 1993-1-6, EN 1993-1-7, EN 1993-1-8, EN 1993-1-11, EN 1993-1-13 або EN 1993-1-14.

(2) Сталеві конструкції, розраховані згідно з цим стандартом, потрібно виконувати згідно з EN 1090-2 та/або EN 1090-4, використовуючи будівельні матеріали та вироби з дотриманням відповідних частин EN 1993 або нормативних документів щодо відповідних матеріалів і виробів.

(3) У випадках, коли необхідна механічна стійкість під час пожежі, сталеві конструкції потрібно проектувати і будувати таким чином, щоб вони зберігали свою несучу здатність упродовж відповідного вогневого впливу.

(4) Критерії щодо деформації потрібно застосовувати в тих випадках, коли засоби вогнезахисту вимагають урахування деформації несучої будівельної конструкції.

(5) Деформацію несучої конструкції можна не розглядати у випадках, коли ефективність засобів вогнезахисту було оцінено згідно з 5.2.3.

(6) Критерії щодо деформації необхідно застосовувати у випадках, коли вихідні дані для проектування огорожувальних конструкцій вимагають взяття до уваги деформації несучої конструкції.

(7) Деформацію несучої конструкції можна не розглядати у випадках, коли огорожувальні конструкції відповідають вимогам, установленим для номінального вогневого впливу.

(8) Сталеві конструкції, спроектовані згідно з EN 1993-1-1, потрібно розглядати як такі, які повинні мати достатню мінімальну стійкість для випадку виникнення пожежі. У випадках, коли необхідні додаткові вимоги, застосовні процедури, викладені в EN 1991-1-7:—¹ (додаток A).

4.2 Номінальний вогневий вплив

(1) У разі стандартного вогневого впливу конструкції мають виконувати такі функції, визначені в EN 1991-1-2, упродовж необхідного проміжку часу вогневого впливу:

— несуча функція: несуча здатність (R);

¹ Розроблюється. Етап на момент опублікування: prEN 1993-1-7:2023.

Under preparation. Stage at the time of publication: prEN 1993-1-7:2023.

— огорожувальна функція: цілісність (E) і, де це необхідно, теплоізолювальна здатність (I);

— огорожувальна та несуча функції: R, E, і, де це необхідно, I.

Примітка 1. Несучу функцію вважають такою, яка виконується, у разі збереженості несучої здатності.

Примітка 2. Огорожувальну функцію вважають такою, яка виконується, у разі збереженості цілісності і, де це необхідно, теплоізолювальної здатності.

Примітка 3. Цілісність вважають такою, що зберігається, якщо огорожувальний елемент конструкційної системи, який зазнає вогневого впливу з одного боку, запобігає проникненню крізь неї полум'я та гарячих газоподібних продуктів, а також появи полум'я на необігрівному боці.

Примітка 4. Теплоізолювальну здатність вважають такою, що зберігається, якщо середнє підвищення температури на всій необігрівній поверхні обмежується 140 K, а максимальне підвищення температури в будь-якій точці цієї поверхні не перевищує 180 K.

(2) У випадку температурного режиму вуглеводневої пожежі, застосовна та сама несуча здатність (R), проте відповідний температурний режим необхідно позначати літерами «НС».

4.3 Фізично обґрунтований вогневий вплив

(1) Несуча функція має зберігатися упродовж усього проміжку часу перебігу пожежі включно з фазою охолодження або ж упродовж відповідного проміжку часу, необхідного згідно з 4.4 (4) EN 1991-1-2:2024.

4.4 Теплотехнічний розрахунок конструкцій

(1) Чинники теплового та механічного впливів необхідно приймати згідно з EN 1991-1-2.

4.5 Розрахункові значення властивостей матеріалів

(1) Розрахункові значення механічних властивостей (міцності і жорсткості) матеріалів під час пожежі $\chi_{d,fi}$ потрібно визначати таким чином:

$$\chi_{d,fi} = k_{\theta} \chi_k / \gamma_{M,fi} \quad (4.1)$$

де

- χ_k характеристичне значення міцності або жорсткості (зазвичай f_k або E_k) для розрахунку за звичайної температури згідно з EN 1993-1-1;
- k_{θ} коефіцієнт послаблення, що залежить від температури ($\chi_{k,\theta}/\chi_k$), для міцності або жорсткості (див. 5.3);
- $\gamma_{M,fi}$ парціальний коефіцієнт безпечності для відповідної механічної властивості матеріалу під час пожежі.

Примітка. Значення $\gamma_{M,fi}$ дорівнює 1,0, якщо національний додаток не передбачає інше значення.

(2) Розрахункові значення теплових властивостей матеріалу під час пожежі потрібно приймати такими, які відповідають їхнім характеристичним значенням.

Примітка. Характеристичні значення теплових властивостей матеріалу відповідають середнім значенням.

4.6 Методи верифікації

(1) Модель конструкційної системи, прийнята для проектування, має відображати властивості цієї системи під час пожежі.

(2) Механічну стійкість необхідно перевіряти для необхідної тривалості вогневого впливу t , користуючись формулою (4.2):

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi,t} \quad (4.2)$$

де

$E_{d,fi}$ розрахункові результати дії чинників впливу під час пожежі, визначені згідно з EN 1991-1-2, включно з результатами теплових розширень і деформацій;

$R_{d,fi,t}$ відповідна розрахункова стійкість під час пожежі.

(3) Статичний розрахунок під час пожежі потрібно проводити згідно з EN 1990:2023 (7.1.5).

Примітка. Для перевіряння вимог щодо стійкості на основі кривої стандартного температурного режиму, якщо не вказано інше, достатньо статичного розрахунку конструкції.

(4) Якщо це не зазначено у відповідних пунктах, то методи верифікації, подані в цьому стандарті, можна застосовувати до всіх типів вогневого впливу.

(5) Для виконання вимог 4.6 (2) можна користуватися такими методами проектування:

- користування розрахунковими табличними даними для специфічних типів конструкцій (див. розділ 6);
- користування спрощеними методами розрахунку для специфічних типів конструкцій (див. розділ 7);
- користування уточненими методами розрахунку для розрахунку конструкцій, частин конструкційної системи або конструкційної системи в цілому (див. розділ 8).

(6) Як альтернатива проєктуванню розрахунком, проєктування може ґрунтуватися на результатах вогневих випробувань або результатах таких випробувань у комбінації з розрахунками.

4.7 Розрахунок конструкцій

(1) Розрахунковий результат дії чинників впливу потрібно визначати для моменту часу $t = 0$, користуючись комбінацією чинників згідно з EN 1991-1-2:2024 (6.3).

(2) У випадках, коли $E_{d,fi}$ визначають згідно з 6.3.2 (4) EN 1991-1-2:2024, потрібно користуватися надійними значеннями η_{fi} .

Примітка. Величина η_{fi} дорівнює 0,65, окрім прикладених навантажень категорії E згідно з EN 1990:2023 (ділянки, на яких можливе накопичування виробів, включно з ділянками доступу), для яких величина η_{fi} дорівнює 0,7, крім випадків, коли в національному додатку вказано інші значення.

(3) Необхідно враховувати результати впливання теплових деформацій, що виникають наслідок градієнтів температури в поперечному перерізі.

(4) Кінематичні граничні умови на кріпильних пристроях і торцях конструкцій, застосовні в момент часу $t = 0$, можна вважати такими, що залишаються незмінними упродовж усього проміжку часу вогневого впливу.

(5) Для перевіряння стану конструкцій під час пожежі можна користуватися розрахунковими табличними даними або ж спрощеними або уточненими методами розрахунку, поданими в цьому стандарті.

4.8 Розрахунок частини конструкційної системи

(1) Результати дії чинників впливу потрібно визначати для моменту часу $t = 0$, користуючись комбінаціями чинників згідно з EN 1991-1-2:2024 (6.3).

(2) В межах частини конструкційної системи, для якої потрібно провести розрахунки, необхідно враховувати відповідний режим досягнення граничного стану, залежні від температури властивості матеріалів і жорсткість конструкцій, а також наслідки теплового розширення та деформації (прямі та непрямі).

(3) Частину конструкційної системи, для якої необхідно провести розрахунок, потрібно зазначати виходячи з можливих теплових розширень і деформацій з таким розрахунком, щоб їхню взаємодію з іншими частинами конструкційної системи можна було наближено

описати залежними від часу умовами кріплення та граничними умовами під час пожежі.

(4) Як альтернатива (1), реакції в опорах і внутрішні зусилля й моменти зусиль на межах частини споруди можна визначати за результатами статичного розрахунку конструкційної системи під час проектування за звичайної температури згідно з 4.7.

4.9 Розрахунок конструкційної системи в цілому

(1) Розрахунок конструкційної системи під час пожежі в цілому має враховувати:

- відповідний режим досягнення граничного стану під час вогневого впливу;
- залежні від температури властивості матеріалів і жорсткість конструкцій;
- впливи теплових розширень (непрямі результати дії чинників вогневого впливу).

5 ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

5.1 Загальні положення

(1) Якщо їх не подано як розрахункові значення, то властивості матеріалів, наведені в розділі 5, необхідно вважати характеристичними.

(2) Механічні властивості сталі за звичайної температури (20 °C) необхідно приймати такими, як вказано в EN 1993-1-1 та EN 1993-1-3 для розрахунку за звичайної температури.

5.2 Теплові властивості

5.2.1 Сталь

5.2.1.1 Коефіцієнт теплового випромінювання

(1) На додаток до EN 1991-1-2:2024 (5.1 (6)), дозволено приймати величини коефіцієнта теплового випромінювання поверхні ε_m , вказані в таблиці 5.1 для різних типів сталі

Таблиця 5.1 — Значення коефіцієнта теплового випромінювання поверхні ε_m

Тип сталі Type of steel	$\varepsilon_m (\leq 500 \text{ } ^\circ\text{C})$	$\varepsilon_m (> 500 \text{ } ^\circ\text{C})$
Сталь	0,7	
Сталь HDG ^a	0,35	0,7
^a Сталь, оцинкована зануренням в розплав, згідно з EN ISO 1461, склад якої відповідає категорії А або В згідно з EN ISO 14713-2:2020 (таблиця 1).		

5.2.1.2 Коефіцієнт теплопровідності

(1) Коефіцієнт теплопровідності сталі λ_a потрібно визначати таким чином:

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

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (5.1)$$

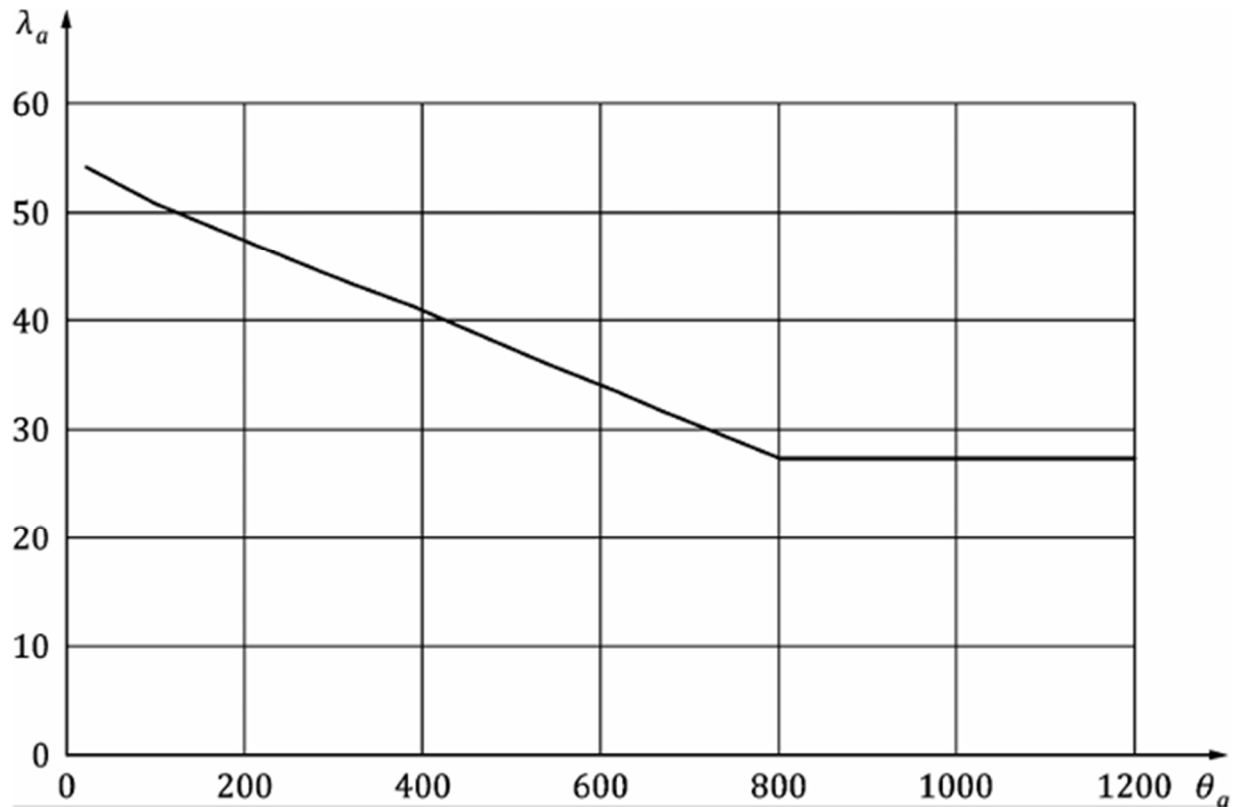
— для $800 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1\,200 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\lambda_a = 27,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (5.2)$$

де

θ_a температура сталі [°C].

Примітка. Змінювання коефіцієнта теплопровідності з температурою проілюстровано на рисунку 5.1.



Умовні позначки:

λ_a коефіцієнт теплопровідності сталі у Вт/(м·К)

θ_a температура сталі в [°C]

Рисунок 5.1 — Залежність коефіцієнта теплопровідності сталі від температури

5.2.1.3 Питома теплоємність

(1) Питому теплоємність сталі c_a потрібно визначати таким чином:

— для $20\text{ °C} \leq \theta_a < 600\text{ °C}$:

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \quad (5.3)$$

— для $600\text{ °C} \leq \theta_a < 735\text{ °C}$:

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)} \quad (5.4)$$

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

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)} \quad (5.5)$$

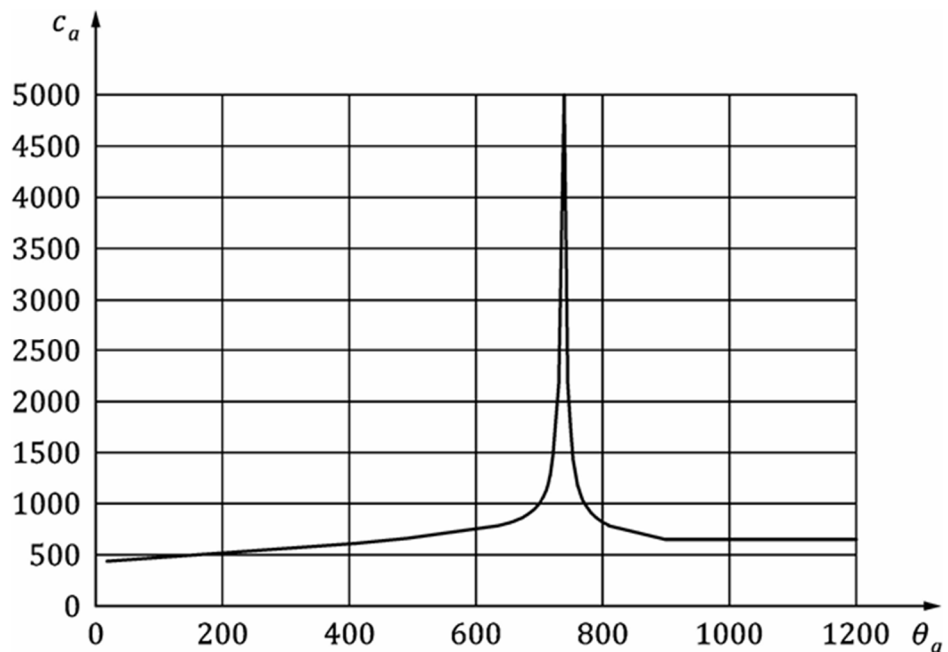
— для $900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1\,200^\circ\text{C}$:

$$c_a = 650 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)} \quad (5.6)$$

де

θ_a — температура сталі в $^\circ\text{C}$

Примітка. Змінювання питомої теплоємності з температурою проілюстровано на рисунку 5.2.



Умовні позначки:

c_a — питома теплоємність сталі у Дж/(кг·К)

Рисунок 5.2 — Залежність питомої теплоємності сталі від температури

5.2.1.4 Густина

(1) Густина сталі ρ_a можна вважати такою, що не залежить від її температури. Можна приймати таке значення:

$$\rho_a = 7\,850 \text{ кг/м}^3$$

5.2.2 Нержавіючі сталі

1) Теплові властивості нержавіючої сталі потрібно приймати згідно з додатком С.

5.2.3 Вогнезахисні матеріали

(1) Властивості і характер поведінки вогнезахисних матеріалів, використовуваних у розрахунках, мають бути такими, які оцінено з використанням процедур випробування, викладених у відповідних частинах EN 13381 у міру їх застосовності.

5.3 Механічні властивості

5.3.1 Сталь

5.3.1.1 Характеристики міцності і жорсткості

(1) Для швидкостей нагрівання від 2 до 50 К/хв, характеристики міцності і жорсткості сталі за підвищених температур потрібно визначати, користуючись залежністю між напруженням і розтягом, поданою в таблиці 5.2 і на рисунку 5.3.

(2) Залежністю, поданою в таблиці 5.2 і на рисунку 5.3, потрібно користуватися для визначення міцності.

(3) В таблиці 5.3 подано коефіцієнти послаблення для залежності між напруженням і розтягом сталі за підвищених температур, яку відображено в таблиці 5.2 і на рисунку 5.3. Ці коефіцієнти послаблення визначають таким чином:

— ефективна межа текучості, віднесена до межі текучості за температури 20 °C: $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

— межа пропорційності, віднесена до межі текучості за температури 20 °C: $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$

— кут ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності, віднесений до кута її ухилу за температури 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$

Примітка. Змінювання цих коефіцієнтів послаблення з температурою проілюстроване на рисунку 5.4.

(4) Як альтернатива, для температур нижче ніж 400 °C залежність між напруженням і розтягом, подану в (1), можна доповнити можливістю виникнення деформаційного зміцнення, описаною в додатку А, за умови що локальний згин або згин конструкції не призводить до передчасного обрушення.

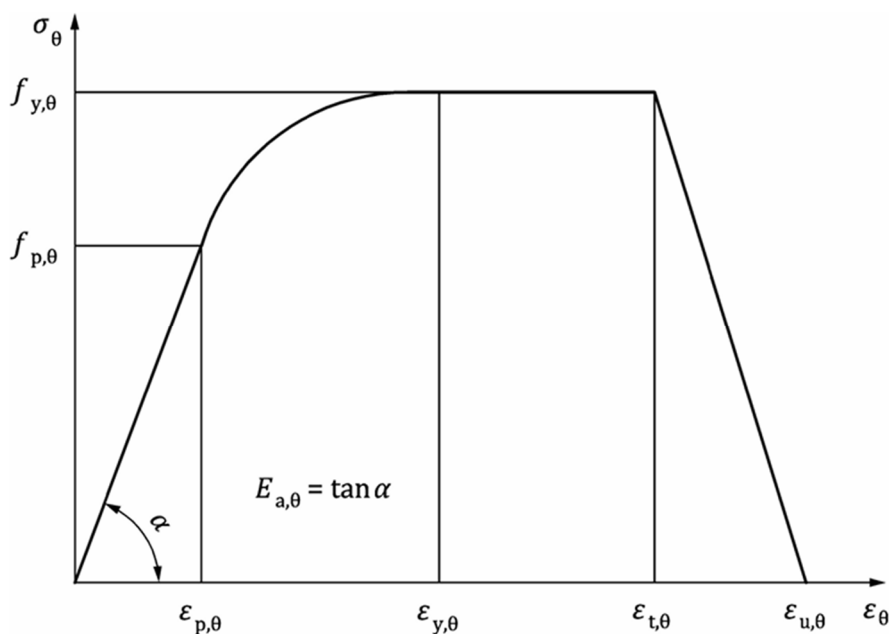
(5) У випадку чинників теплового впливу згідно з EN 1991-1-2:2024 (5.3) (фізично обґрунтованих), як наближені величини можна приймати значення, подані на рисунку 5.3 для залежності між напруженням і подовженням для конструкційної сталі марок до S500 включно.

Таблиця 5.2 — Залежність між напруженням і подовженням для сталі за підвищених температур

Діапазон деформації	Напруження σ_θ	Модуль зсуву
$\varepsilon_\theta \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon_\theta E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon_\theta < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) \left[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_\theta)^2 \right]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_\theta)}{a \left[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_\theta)^2 \right]^{0,5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} < \varepsilon_\theta < \varepsilon_{t,\theta}$	$\varepsilon_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon_\theta < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} \left[1 - (\varepsilon_\theta - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}) \right]$	—
$\varepsilon_\theta = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	—
Параметри	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta}/E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$	$\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$

Кінець таблиці 5.2

Функції	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c/E_{a,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$
---------	---



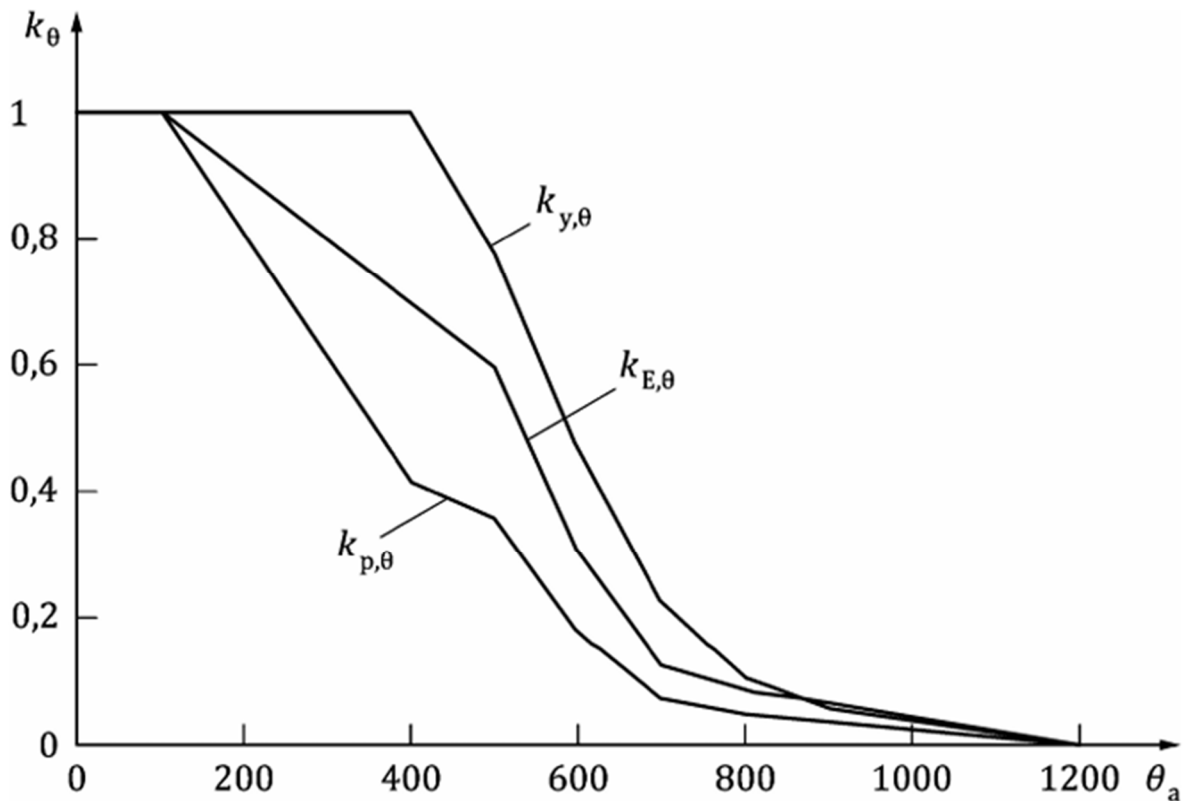
Умовні позначки:

- σ_θ напруження
- ε_θ розтяг
- $f_{y,\theta}$ ефективна межа текучості
- $f_{p,\theta}$ межа пропорційності
- $E_{a,\theta}$ кут ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності
- $\varepsilon_{p,\theta}$ подовження за межі пропорційності
- $\varepsilon_{y,\theta}$ подовження за межі текучості
- $\varepsilon_{t,\theta}$ граничне подовження для межі текучості
- $\varepsilon_{u,\theta}$ граничне подовження

Рисунок 5.3 — Залежність між напруженням і подовженням для сталі за підвищених температур

Таблиця 5.3 — Коефіцієнти послаблення для залежності між напруженням і подовженням для сталі за підвищених температур

Температура сталі θ_a Steel Temperature θ_a	Коефіцієнти послаблення за температури θ_a, віднесені до значення f_y або E_a за температури 20 °C		
	Коефіцієнт послаблення (відносно f_y) для ефективної межі текучості $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Коефіцієнт послаблення (відносно f_y) для межі пропорційності $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Коефіцієнт послаблення (відносно f_y) для кута ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
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 можна здійснювати лінійну інтерполяцію.			



Умовні позначки:

k_{θ}	коефіцієнт послаблення
θ_a	температура сталі в [°C]
$k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	коефіцієнт послаблення для ефективної межі текучості
$k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$	коефіцієнт послаблення для кута ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності
$k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	коефіцієнт послаблення для межі пропорційності

Рисунок 5.4 — Коефіцієнти послаблення для залежності між напруженням і подовженням для сталі за підвищених температур

5.3.1.2 Теплове розширення

(1) Відносне теплове розширення сталі $\Delta l/l$ потрібно визначати таким чином:

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

$$\Delta l/l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4} \quad (5.7)$$

— для $750 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 860 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2} \quad (5.8)$$

— для $860 \text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 1\,200 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3} \quad (5.9)$$

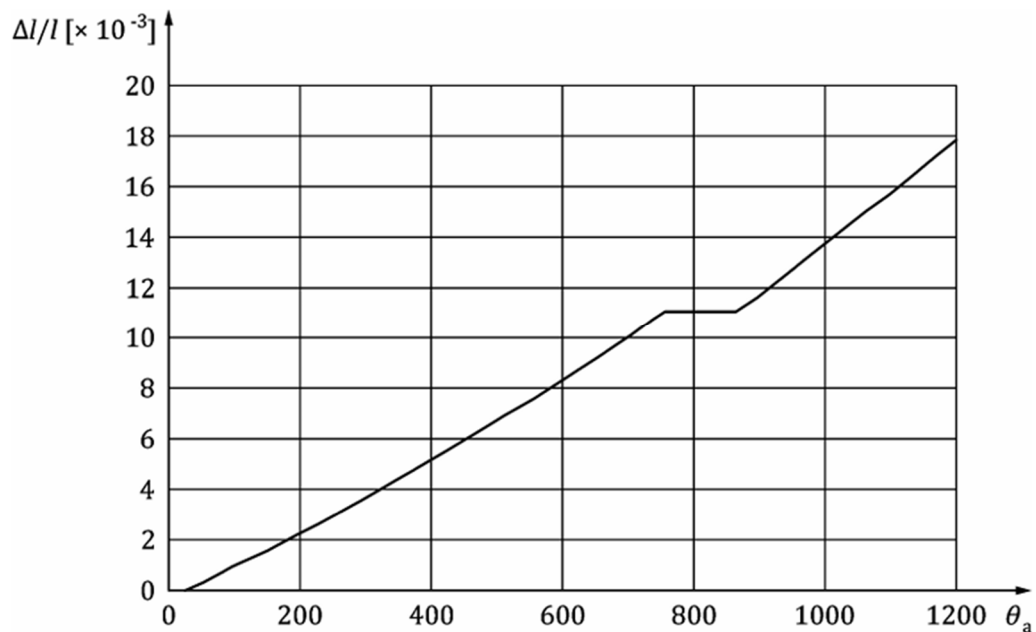
де

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

Δl — розширення, спричинене тепловим впливом;

θ_a — температура сталі в $[^{\circ}\text{C}]$.

Примітка. Змінювання відносного теплового розширення з температурою проілюстровано на рисунку 5.5.



Умовні позначки:

$\Delta l/l$ відносне теплове подовження

Рисунок 5.5 — Відносне теплове подовження сталі залежно від температури

5.3.2 Нержавіючі сталі

(1) Механічні властивості нержавіючих сталей потрібно приймати згідно з додатком С.

6 ТАБЛИЧНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ

(1) Табличні дані для розрахунків стосуються статичного розрахунку конструкцій згідно з 4.7. Ними потрібно користуватися лише для стандартного вогневого впливу без екстраполяції за межі діапазону застосування.

Примітка 1. Табличні дані одержано в результаті випробувань, користування розрахунковими моделями або певними комбінаціями того й другого, їх можна подавати у формі таблиці або рівняння.

Примітка 2. Використання табличних даних для розрахунків забезпечує одержання результатів з запасом безпечності порівняно з відповідними випробуваннями або ж користуванням спрощеними або уточненими методами розрахунку.

(2) Розподіл температури за довжиною елементів конструкційної системи потрібно приймати однаковим.

(3) Табличними розрахунковими даними можна користуватися для одержання визнаних проектних рішень, як правило, з огляду на типологію (геометричні розміри) конструкції без використання жодної з форм рівняння рівноваги.

Примітка. Табличні дані для розрахунків цим стандартом не регламентовано.

7 СПРОЩЕНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ

7.1 Загальні положення

(1) Спрощені методи розрахунку передбачають статичний розрахунок згідно з 4.7. Їх необхідно застосовувати без екстраполяції за межі діапазону застосовності.

Примітка 1. Спрощені методи розрахунку ґрунтуються на глобальних рівняннях рівноваги, які виконуються для профілю або для конструкції.

Примітка 2. Розв'язання глобального рівняння рівноваги в рамках спрощеного методу розрахунку забезпечує визначення однієї фізичної величини, наприклад, температури в профілі або його частині, несучої здатності профілю або конструкції.

Примітка 3. Спрощені методи розрахунку забезпечують одержання результатів з запасом безпечності у порівнянні з випробуваннями або застосуванням уточнених методів розрахунку.

(2) Несучу функцію сталевих конструкцій вважають такою, що зберігається в момент часу t під час пожежі у відповідному режимі, якщо

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi,t} \quad (7.1)$$

Де

$E_{d,fi}$ розрахунковий результат дії чинників впливу для проектної пожежі згідно з EN 1991-1-2;

$R_{d,fi,t}$ відповідний розрахунковий опір сталевих конструкцій для проектної пожежі в момент часу t .

(3) Розрахунковий опір $R_{d,fi,t}$ в момент часу t потрібно визначати (як правило, виходячи з припущення про рівномірний розподіл температури в поперечному перерізі), змінюючи розрахунковий опір за звичайної температури, визначений згідно з EN 1993-1-1, для врахування механічних властивостей сталі за підвищених температур (див. 7.4).

Примітка. У 7.4, $R_{d,fi,t}$ стає $M_{d,fi,t}$, $N_{d,fi,t}$ тощо (окремо або в комбінації), а відповідні значення $M_{Ed,fi,t}$, $N_{Ed,fi,t}$ та ін. відповідають $E_{d,fi}$.

4) У разі користування припущенням про нерівномірний розподіл температури, розрахунковий опір $R_{d,fi,t}$ можна визначати виходячи з розподілу температури в конструкції.

(5) Як альтернатива до (3), виходячи з припущення про рівномірний розподіл температури можна проводити верифікацію в температурній області (див. 7.5).

(6) Вогнестійкість болтового або зварного з'єднання можна вважати достатньою у разі виконання таких умов:

а) Термічний опір $(d_f/\lambda_f)_c$ вогнезахисту з'єднання не нижчий за мінімальне значення $(d_f/\lambda_f)_m$ термічного опору вогнезахисту, нанесеного на будь-яку із з'єднаних конструкцій;

Де

d_f товщина вогнезахисного матеріалу ($d_f = 0$ для конструкцій без вогнезахисту);

λ_f ефективний коефіцієнт теплопровідності вогнезахисного матеріалу.

б) ступінь використання з'єднання не вищий за максимальне значення ступеня використання будь-якої із з'єднаних конструкцій.

Примітка. Як спрощення, порівняння ступенів використання з'єднань та з'єднаних конструкцій можна проводити за звичайної температури.

(7) як альтернатива методу, поданому в 7.1 (6), вогнестійкість з'єднання можна визначати, користуючись додатком d.

(8) верифікацію балок з великими отворами в ребрі у зонах з отворами потрібно проводити згідно з додатком E.

7.2 Класифікація поперечних перерізів

(1) Для цілей, пов'язаних з цими спрощеними правилами, поперечні перерізи можна класифікувати як для розрахунку за звичайної температури із зниженим значення ε , яке визначають за формулою (7.2).

$$\varepsilon_{fi} = 0,85 [235/f_y]^{0,5} \quad (7.2)$$

Де

f_y — межа текучості за температури 20 °C..

Максимальні співвідношення між шириною і товщиною для частин конструкцій, які працюють на стискання, 1, 2 і 3 класів потрібно визначати згідно з EN 1993-1-1:2022 (таблиця 7.3), приймаючи f_y за температури 20 °C та $\varepsilon = \varepsilon_{fi}$.

Примітка. Коефіцієнт послаблення 0,85 враховує впливи, зумовлені підвищеними температурами.

7.3 Ефективна ширина для поперечних перерізів 4 класу

(1) В поперечних перерізах 4 класу, значеннями ефективної ширини можна користуватися для прийняття необхідних допусків на зниження опору через впливи локального згину, користуючись EN 1993-1-5:2024 (6.4), за винятком того, що коефіцієнт послаблення ρ потрібно приймати таким:

Внутрішні конструкції:

$$\rho = \frac{\left(\bar{\lambda}_p + 0,9 - \frac{0,26}{\varepsilon}\right)^{1,5} - 0,055(3 + \psi)}{\left(\bar{\lambda}_p + 0,9 - \frac{0,26}{\varepsilon}\right)^3} \quad (7.3)$$

Зовнішні конструкції:

$$\rho = \frac{\left(\bar{\lambda}_p + 1,1 - \frac{0,52}{\varepsilon}\right)^{1,2} - 0,188}{\left(\bar{\lambda}_p + 1,1 - \frac{0,26}{\varepsilon}\right)^{2,4}} \quad (7.4)$$

в якому

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

7.4 Опір

7.4.1 Конструкції, які працюють на розтяг

(1) Розрахунковий опір $N_{Rd,fi,\theta}$ конструкції, яка працює на розтяг, з рівномірним розподілом температури θ_a потрібно визначати за рівнянням

$$N_{Rd,fi,\theta} = k_{y,\theta} N_{t,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.5)$$

Де

$k_{y,\theta}$ — коефіцієнт зниження межі текучості сталі за температури θ_a , що досягається в момент часу t (див. розділ 5);

$N_{t,Rd}$ — розрахункова межа міцності на розтяг поперечного перерізу для розрахунку за звичайної температури згідно з EN 1993-1-1:2022 (8.2.3).

2) Розрахунковий опір $N_{t,Rd}$ в момент часу t конструкції, яка працює на розтяг, з рівномірним розподілом температури в поперечному перерізі можна визначати за рівнянням

$$N_{Rd,fi,\theta} = k_{y,\theta} N_{t,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.6)$$

Де

A_i — площа елементарної ділянки поперечного перерізу з температурою $\theta_{a,i}$;

$k_{y,\theta,i}$ — коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за температури $\theta_{a,i}$, що досягається в момент часу t (див. розділ 5);

$\theta_{a,i}$ — температура на елементарній ділянці площею A_i .

(3) Розрахунковий опір $N_{Rd,fi,t}$ в момент часу t конструкції, яка працює на розтяг, з нерівномірним розподілом температури можна приймати, застосовуючи консервативний підхід, таким, який дорівнює

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

розрахунковому опору $N_{Rd,fi,\theta}$ конструкції, яка працює на розтяг, з рівномірним розподілом температури сталі θ_a , що дорівнює її максимальній температурі $\theta_{a,max}$, яка досягається в момент часу t .

7.4.2 Конструкції, які працюють на стискання

(1) Розрахунковий опір згину $N_{b,Rd,fi,t}$ в момент часу t конструкції, яка працює на стискання, з рівномірним розподілом температури θ_a можна визначити з рівняння

$$N_{b,Rd,fi,t} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{для поперечних прорізів 1, 2 або 3 класу} \quad (7.7)$$

$$N_{b,Rd,fi,t} = \chi_{fi} A_{eff} k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{для поперечних прорізів 4 класу} \quad (7.8)$$

Де

χ_{fi} коефіцієнт послаблення для згину в результаті згинання під час пожежі;

$k_{y,\theta}$ коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для межі текучості сталі за її температури θ_a , що досягається в момент часу t .

A_{eff} ефективна площа, розрахована згідно з EN 1993-1-1:2022 (8.2.2.5) з використанням коефіцієнта послаблення для згину плити, як визначено в 7.3.

2) Значення χ_{fi} потрібно приймати таким, що дорівнює меншому із значень $\chi_{y,fi}$ та $\chi_{z,fi}$, визначених за рівнянням

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \quad (7.9)$$

в якому

$$\phi_{\theta} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right) \quad (7.10)$$

i

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235/f_y} \text{ де } f_y \text{ — межа текучості в Н/мм}^2 \quad (7.11)$$

Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_{\theta}$ за температури θ_a визначається таким чином:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} \quad (7.12)$$

де

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{для поперечних прорізів 1, 2 або 3 класу} \quad (7.13)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{для поперечних прорізів 4 класу} \quad (7.14)$$

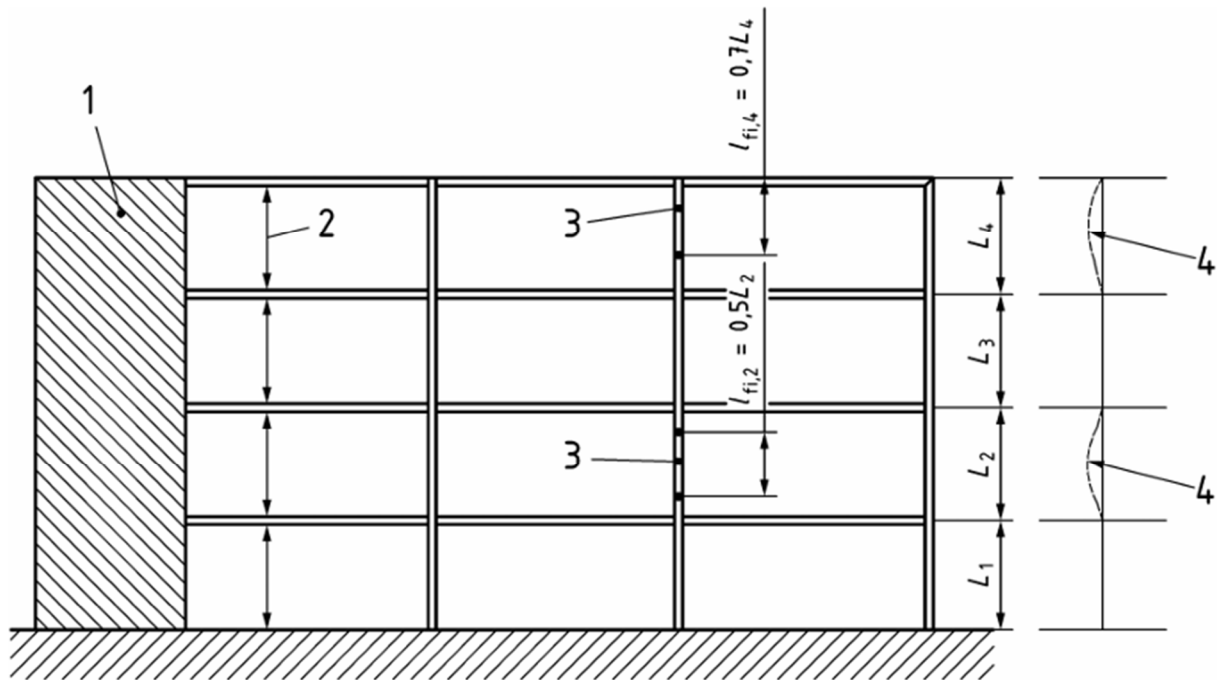
$k_{y,\theta}$ — коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для межі текучості сталі за її температури θ_a , що досягається в момент часу t ;

$k_{E,\theta}$ — коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для кута ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності за температури сталі θ_a , що досягається в момент часу t ;

N_{cr} — критичне пружне зусилля для відповідного режиму згинання, яке визначають виходячи з властивостей поперечного перерізу бруто з використанням довжини ділянки з повздовжнім згином під час пожежі.

(3) Довжину ділянки колони із згином l_{fi} в умовах проектної пожежі потрібно визначати, як правило, як для розрахунку за звичайної температури.

(4) У випадку негнучких каркасів споруд, кожен поверх яких являє собою протипожежний відсік, вогнестійкість яких на нижча за вогнестійкість колони, довжину ділянки згину l_{fi} суцільної колони можна приймати такою, що дорівнює $l_{fi} = 0,5L$ на проміжному поверсі та $l_{fi} = 0,7L$ на верхньому поверсі, де L — довжина системи на відповідному поверсі (див. рисунок 7.1).



Умовні позначки:

- 1 поперечна стіна або інша система кріплення
- 2 висота окремих протипожежних відсіків на кожному поверсі
- 3 довжина ділянки колони із згином, що зазнає вогневого впливу
- 4 режим деформації під час пожежі

Рисунок 7.1 — Довжини ділянок із згином l_{fi} колон у складі негнучких каркасів

(5) Під час проектування з прийняттям номінального вогневого впливу, розрахунковий опір $N_{b,Rd,fi,t}$ в момент часу t конструкції, яка працює на стикання, з неоднорідним розподілом температури можна

приймати таким, що дорівнює розрахунковому опору $N_{Rd,fi,\theta}$ конструкції, яка працює на стикання, з рівномірним розподілом температури θ_a , що дорівнює максимальній температурі сталі $\theta_{a,max}$, яка досягається в момент часу t .

7.4.3 Балки з поперечними перерізами 1 або 2 класу

(1) Розрахунковий момент опору $M_{Rd,fi,\theta}$ поперечного перерізу 1 або 2 класу з рівномірним розподілом температури θ_a потрібно визначати за рівнянням

$$M_{Rd,fi,\theta} = k_{\gamma,\theta} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] M_{c,Rd} \quad (7.15)$$

де

$M_{c,Rd}$ пластичний момент опору поперечного перерізу брутто $M_{pl,Rd}$ для проектування для звичайної температури згідно з EN 1993-1-1:2022 (8.2.5 (2)), або зменшений момент опору для розрахунку за звичайної температури, що враховує за необхідності впливи зсуву згідно з 1993-1-1:2022 (8.2.8);

$k_{\gamma,\theta}$ коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за температури θ_a (див. розділ 5).

(2) Розрахунковий момент опору $M_{Rd,fi,\theta}$ в момент часу t поперечного перерізу 1 або 2 класу з нерівномірним розподілом температури в поперечному перерізі можна визначити з формули

$$M_{Rd,fi,t} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{\gamma,\theta,i} f_{y,i} / \gamma_{M,fi} \quad (7.16)$$

Де

z_i відстань від пластично нейтральної вісі до центра мас елементарної ділянки площею A_i ;

$f_{y,i}$ — номінальна межа текучості f_y для елементарної ділянки площею A_i , яку вважають додатною на боці стискання від пластично нейтральної вісі та від'ємною на боці розтягування;

A_i та $k_{y,\theta,i}$ — значенні, вказані в 7.4.1 (2).

(3) Як альтернатива, розрахунковий момент опору $M_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу 1 або 2 класу в конструкції з нерівномірним розподілом температури можна визначити з рівняння

$$M_{Rd,fi,t} = M_{Rd,fi,\theta} / (\kappa_1 \kappa_2), \text{ але } M_{Rd,fi,t} \leq M_{c,Rd} \quad (7.17)$$

Де

$M_{Rd,fi,\theta}$ — розрахунковий момент опору поперечного перерізу для рівномірного розподілу температури θ_a , яка дорівнює рівномірно розподіленій температурі θ_a в момент часу t в поперечному перерізі, що не зазнає теплового впливу від опори;

κ_1 — коефіцієнт перерахунку для нерівномірного розподілу температури в поперечному перерізі, див. (8);

κ_2 — коефіцієнт перерахунку для нерівномірного розподілу температури вздовж балки, див. (9);

4) Розрахунковий момент опору поперечно-крутильному згинанню $M_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечно незв'язаної конструкції з поперечним перерізом 1 або 2 класу потрібно визначати з формули

$$M_{Rd,fi,t} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.18)$$

Де

$W_{pl,y}$	пластичний модуль опору поперечного перерізу профілю;
$\chi_{LT,fi}$	коефіцієнт послаблення для поперечно-крутильного згинання під час проектної пожежі;
$k_{y,\theta,com}$	коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для межі текучості сталі за максимальної температури в полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$ в момент часу t .

Застосовуючи консервативний підхід, $\theta_{a,com}$ можна вважати такою, яка дорівнює рівномірно розподіленій температурі θ_a .

(5) Значення $\chi_{LT,fi}$ потрібно визначати за такою формулою:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} \quad (7.19)$$

в якій

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5(1 + \alpha_{LT}\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2) \quad (7.20)$$

де коефіцієнт неоднорідності для поперечно-крутильного згину α_{LT} потрібно визначати за формулою (7.11):

і

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} \quad (7.21)$$

Де

$k_{E,\theta,com}$	коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для кута ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності за максимальної температури сталі в полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t .
--------------------	---

а відносна гнучкість визначається формулою

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} \quad (7.22)$$

Де

M_{cr} критичний момент опору пружній деформації для поперечно-крутильного згинання, що визначається властивостями поперечного перерізу бруто з урахуванням умов навантаження, фактичного розподілу моменту опору та обмежувачів поперечного зміщення.

(6) Для врахування впливів розподілу моменту опору між обмежувачами бокового зміщення конструкцій, коефіцієнт послаблення можна змінювати таким чином:

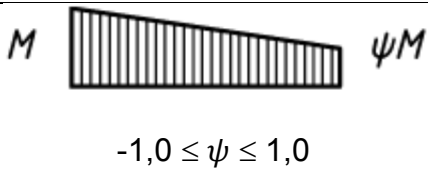
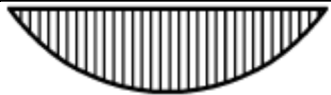
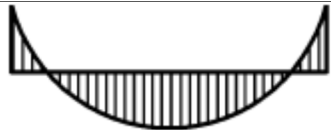
$$\chi_{LT,fi,mod} = \frac{\chi_{LT,fi}}{f}, \text{ але } \chi_{LT,fi,mod} \leq 1,0 \quad (7.23)$$

де f потрібно приймати таким, що залежить від типу навантаження, за формулою

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \quad (7.24)$$

де k_c — коефіцієнт поправки згідно з таблицею 7.1.

Таблиця 7.1 — Коефіцієнт поправки k_c

Розподіл моменту зусилля	k_c
 $-1,0 \leq \psi \leq 1,0$	$0,6 + 0,3\psi + 0,15\psi^2$, але $k_c \leq 1,0$
	0,91
	0,90
	0,91
	0,79
	0,73
	0,75
Для інших епюр згину $k_c = 1,0$.	

(7) Розрахунковий опір зсуву $V_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу 1 або 2 класу потрібно визначати за формулою

$$V_{Rd,fi,t} = k_{y,\theta,web} V_{c,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.25)$$

Де

$V_{c,Rd}$ опір зсуву поперечного перерізу брутто для розрахунку за звичайної температури, який приймають таким, що дорівнює $V_{pl,Rd}$ згідно з EN 1993-1-1:2022 (8.2.6 (2));

θ_{web} середня температура в ребрі профілю;

$k_{y,\theta,web}$ коефіцієнт послаблення для межі пружності сталі за її температури θ_{web} (див. розділ 5).

(8) Величину коефіцієнта перерахунку κ_1 для нерівномірного розподілу температури в поперечному перерізі потрібно приймати таким:

— для балки, яка зазнає вогневого впливу з усіх чотирьох боків: $\kappa_1 = 1,0$;

— для балки без вогнезахисту, що зазнає вогневого впливу з трьох боків, із сталезалізобетонною або залізобетонною плитою з четвертого боку: $\kappa_1 = 0,70$;

— для балки з вогнезахистом, що зазнає вогневого впливу з трьох боків, із сталезалізобетонною або залізобетонною плитою з четвертого боку: $\kappa_1 = 0,85$;

(9) Для нерівномірного розподілу температури вздовж балки коефіцієнт перерахунку κ_2 потрібно приймати таким:

— в опорних елементах статично незалежної балки: $\kappa_2 = 0,85$

— у решті випадків: $\kappa_2 = 1,0$.

7.4.4 Балки з поперечними перерізами 3 класу

1) Розрахунковий момент опору $M_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу 3 класу з рівномірним розподілом температури потрібно визначати таким чином:

$$M_{Rd,fi,\theta} = k_{y,\theta} M_{c,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.26)$$

Де

$M_{c,Rd}$ момент пластичного опору поперечного перерізу брутто $M_{el,Rd}$ для розрахунку за звичайної температури згідно з EN 1993-1-1:2022 (8.2.5 (2)) або знижений момент опору, що за необхідності враховує впливи зрізу згідно з EN 1993-1-1:2022 (8.2.8);

$k_{y,\theta}$ — коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за температури сталі θ_a (див. розділ 5).

2) Розрахунковий момент опору $M_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу 3 класу з нерівномірним розподілом температури можна визначати таким чином:

$$M_{Rd,fi,t} = k_{y,\theta,max} M_{c,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] / (\kappa_1 \kappa_2) \text{ але } M_{Rd,fi,t} \leq M_{c,Rd} \quad (7.27)$$

Де

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

κ_1 коефіцієнт перерахунку для нерівномірного розподілу температури в поперечному перерізі (див. 7.4.3 (8));

κ_2 коефіцієнт перерахунку для нерівномірного розподілу температури за довжиною балки (див. 7.4.3 (9)).

(3) Розрахунковий момент опору згину $M_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечно незв'язаної балки з поперечним перерізом 3 класу потрібно визначати таким чином:

$$M_{Rd,fi,t} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.28)$$

Де

$W_{el,y}$ пластичний модуль опору поперечного перерізу;

$\chi_{LT,fi}$ величина, яку визначають за формулою (7.19), в якій

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} f_y}{M_{cr}}} \quad (7.29)$$

У разі застосування консервативного підходу, $\theta_{a,com}$ можна вважати такою, що дорівнює максимальній температурі $\theta_{a,max}$.

(4) Розрахунковий опір зсуву $V_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу 3 класу потрібно визначати за формулою (7.25).

7.4.5 Балки з поперечними перерізами 4 класу

(1) Розрахунковий момент опору $M_{Rd,fi,\theta}$ поперечного перерізу 4 класу з рівномірно розподіленою температурою θ_a потрібно визначати таким чином:

$$M_{Rd,fi,\theta} = W_{eff} k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.30)$$

Де

W_{eff} ефективний момент опору поперечного перерізу, визначений згідно з EN 1993-1-1 з використанням коефіцієнта послаблення для повздовжнього згинання плит, визначений згідно з 7.3;

$k_{y,\theta}$ коефіцієнт послаблення для межі текучості сталі за температури θ_a (див. розділ 5).

(2) Розрахунковий момент опору поперечно-крутильному згинанню $M_{b,Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечно незв'язаної балки з поперечним перерізом 4 класу потрібно визначати таким чином:

$$M_{b,Rd,fi,t} = \chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.31)$$

Де

$k_{y,\theta,com}$ коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для межі текучості сталі за максимальної температури в полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t ;

$\chi_{LT,fi}$ коефіцієнт послаблення для поперечно-крутильного згинання під час проектної пожежі, який визначають за формулою (7.32):

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} \quad (7.32)$$

в якій

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5(1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2) \quad (7.33)$$

значення α_{LT} вказано в таблиці 7.2, і

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} \quad (7.34)$$

і

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} \quad (7.35)$$

Де

M_{cr} критичний пластичний модуль опору для поперечно-крутильного згинання, що залежить від властивостей поперечного перерізу бруто з урахуванням умов

навантаження, фактичного розподілу моменту опору та обмежувачів бокового зміщення;

$k_{E,\theta,com}$ коефіцієнт послаблення згідно з розділом 5 для кута ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності за максимальної температури сталі в полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t .

Таблиця 7.2 — Вибирання коефіцієнта неоднорідності α_{LT}

Крива	Межі	α_{LT}
L1	$\frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} > 0,9$	$1,25\sqrt{235/f_y}$
L2	$0,8 < \frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} \leq 0,9$	$1,00\sqrt{235/f_y}$
L3	$\frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} \leq 0,8$	$0,75\sqrt{235/f_y}$

(3) Для врахування впливів розподілу моменту зусилля між обмежувачами бокового зміщення конструкції з поперечним перерізом 4 класу, коефіцієнт послаблення $\chi_{LT,fi}$ потрібно змінювати, як передбачено формулою (7.23), визначаючи коефіцієнт f таким чином:

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \geq 0,8 \quad (7.36)$$

(4) Розрахунковий опір зсуву $V_{b,Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу 4 класу потрібно визначати за формулою (7.25).

7.4.6 Конструкції з поперечними перерізами 1, 2 або 3 класів, які зазнають комбінованого впливу згинання та осьового стискання

(1) Розрахунковий опір згину $R_{d,fi,t}$ в момент часу t конструкції, що зазнає комбінації згинання та осьового стискання, потрібно перевіряти, забезпечуючи виконання умов, які описують формули (7.37), (7.38) для конструкції з поперечним перерізом 1 або 2 класу, або формули (7.39), (7.40) для конструкції з поперечним перерізом 4 класу.

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_y \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad (7.37)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed,fi}}{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad (7.38)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_y \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad (7.39)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed,fi}}{\chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad (7.40)$$

Де

$\chi_{min,fi}$ величина, подана в 7.4.2 (2);

$\chi_{z,fi}$ величина, подана в 7.4.2 (2);

$\chi_{LT,fi}$ величина, подана в 7.4.3 (5) і 7.4.3 (6) для конструкцій з поперечним перерізом 1 і 2 класів та в 7.4.3 (5) для

конструкцій з поперечним перерізом 3 класу;

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed,fi}}{\chi_{z,ft} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.41)$$

$$\mu_{LT} = \min[0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15; 0,9] \quad (7.42)$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed,fi}}{\chi_{y,ft} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.43)$$

$$\mu_y = \min[(2\beta_{M,y} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} + 0,29; 0,28] \text{ з } \mu_{y,20^\circ\text{C}} = \min[\bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}}; 1,1] \quad (7.44)$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,ft} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,0 \quad (7.45)$$

$$\mu_z = [\min(1,2\beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71\beta_{M,z} - 0,29; 0,8] \quad (7.46)$$

Примітка. Інформацію щодо коефіцієнтів рівномірності розподілу еквівалентного моменту зусилля для 1, 2 або 3 класів подано в таблиці 7.3.

(2) Коефіцієнти рівномірності розподілу еквівалентного моменту зусилля $\beta_{M,y}$, $\beta_{M,z}$ і $\beta_{M,LT}$ потрібно визначати за епюрою моменту зусилля згинання між відповідними точками кріплення таким чином:

коефіцієнт моменту зусилля	вісь згинання bending axis	точки, закріплені в напрямку
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------

moment factor

points braced in direction

$\beta_{M,y}$	y-y	z-z
$\beta_{M,z}$	z-z	y-y
$\beta_{M,LT}$	y-y	y-y

7.4.7 конструкції з поперечними перерізами 4 класу, які зазнають комбінованого впливу згинання та осьового стискання

(1) розрахунковий опір згину $R_{d,fi,t}$ в момент часу t конструкції, яка зазнає одночасного згинання та осьового стискання, потрібно перевіряти, забезпечуючи виконання умов, які описують формули (7.47), (7.48) для конструкції з поперечним перерізом 4 класу.

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{min,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_y \frac{M_{y,Ed,fi} + \Delta M_{y,Ed,fi}}{W_{eff,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,Ed,fi} + \Delta M_{z,Ed,fi}}{W_{eff,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.47)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed,fi} + \Delta M_{y,Ed,fi}}{\chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,Ed,fi} + \Delta M_{z,Ed,fi}}{W_{eff,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.48)$$

де

$\chi_{min,fi}$ величина, подана в 7.4.2 (2);

$\chi_{z,fi}$ величина, подана в 7.4.2 (2);

$\chi_{LT,fi}$ величина, подана в 7.4.5 (2), (3);

$\Delta M_{y,Ed,fi}$, додаткові згинальні моменти, що виникають через зміщення осі центра мас у час, коли поперечний переріз зазнає лише стискання (див. EN 1993-1-1:2022 (8.2.2.5 (3)));

$\Delta M_{z,Ed,fi}$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Ed,fi}}{\chi_{z,ft} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.49)$$

$$\mu_{LT} = \min[0,45 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} + 0,2; 0,7] \quad (7.50)$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Ed,fi}}{\chi_{y,ft} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.51)$$

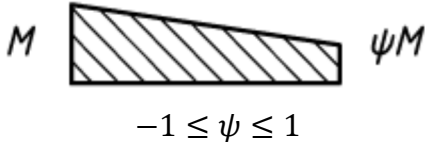
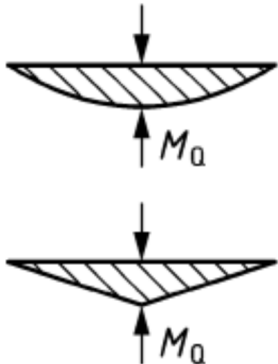
$$\mu_y = \min[(2\beta_{M,y,1} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \beta_{M,y,2} + 0,7; 0,6] \text{ з } \mu_{y,20^\circ\text{C}} = \min[\bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}}; 1,1] \quad (7.52)$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,ft} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,0 \quad (7.53)$$

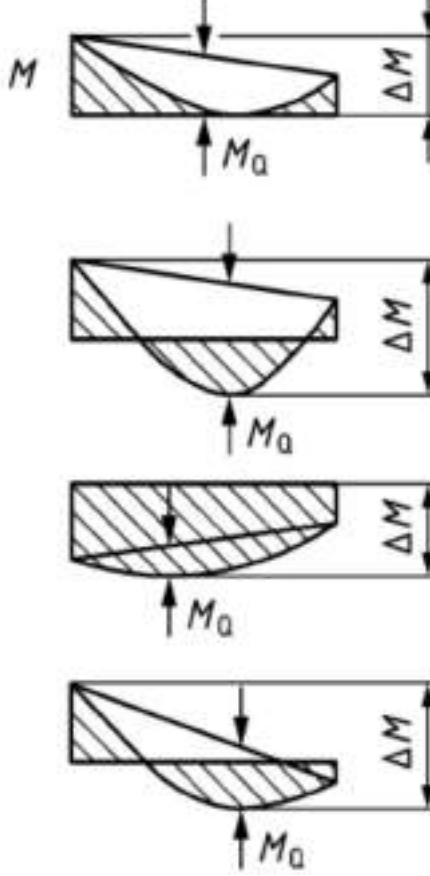
$$\mu_z = \min[(1,2\beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71 \beta_{M,z} - 0,29; 0,8] \quad (7.54)$$

Примітка. Інформацію щодо коефіцієнтів рівномірності розподілу еквівалентного моменту зусилля β_M для 4 класу подано в таблиці 7.3, а також Примітці до 7.4.6.

Таблиця 7.3 — Коефіцієнти еквівалентного однорідного моменту зусилля

Епюра моменту зусилля	Еквівалентний однорідний момент зусилля β_M	
	1, 2 або 3 клас	4 клас
Торцеві моменти зусилля  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$	$\beta_{M,y,1} = \beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,9\psi$ $\beta_{M,y,2} = \beta_{M,y,1}$ $\beta_{M,LT} = \beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,9\psi$
Моменти зусилля, спричинені площинними поперечними навантаженнями 	$\beta_{M,Q} = 1,3$	$\beta_{M,y,1} = \beta_{M,Q} = 1,6$ $\beta_{M,y,2} = 0$ $\beta_{M,LT} = \beta_{M,Q} = 1,6$
	$\beta_{M,Q} = 1,4$	

Кінець таблиці 7.3

Моменти зусилля, спричинені площинними поперечними навантаженнями і торцевими моментами зусилля	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M$ завдяки лише поперечному навантаженню
	$\Delta M \begin{cases} \max M & \text{Для епюри моменту зусилля без зміни знака} \\ \max M + \min M & \text{Для епюри моменту зусилля із зміною знака} \end{cases}$

7.5 Критична температура

(1) Як альтернатива 7.1 (2), верифікацію можна проводити в температурній області.

2) За винятком випадку, коли розглядають критерії деформації або коли необхідно враховувати явища нестабільності, критичну температуру сталі $\theta_{a,cr}$ згідно з EN 1993-1-1:2022 (таблиці 5.1, 5.2) та EN 1993-1-3:2024 (таблиці 5.1, 5.2) в момент часу t для рівномірного розподілу температури в конструкції можна визначати для будь-якого ступеня використання μ_0 в момент часу $t = 0$, користуючись таким виразом:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left(\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482 \quad (7.55)$$

де

μ_0 потрібно приймати меншим за 0,013.

Примітка 1. Значення критичної температури за умовчанням може встановлювати національний додаток.

Примітка 2. Для конструкцій з поперечним перерізом 4 класу, значення критичної температури $\theta_{a,cr}$, яке приймають за умовчанням, дорівнює 350 °C, якщо в національному додатку не вказано інше значення.

(3) Для конструкцій з поперечними перерізами 1, 2 і 3 класів, а також для всіх конструкцій, які працюють на розтяг, ступінь використання μ_0 в момент часу $t = 0$ можна визначати таким чином:

$$\mu_0 = E_{d,fi} / R_{d,fi,\theta} \quad (7.56)$$

Де

$R_{d,fi,\theta}$ значення $R_{d,fi}$ для моменту часу $t = 0$ згідно з 7.4;

$E_{d,fi}$ та $R_{d,fi}$ величини, вказані в 7.1 (3).

(4) Як альтернатива, для конструкцій, які працюють на розтяг, а також для балок, для яких поперечно-крутильне згинання не є можливим режимом досягнення граничного стану, μ_0 можна отримувати, застосовуючи консервативний підхід, таким чином:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\gamma_{M,fi} / \gamma_{M0}] \quad (7.57)$$

де

η_{fi} коефіцієнт послаблення, визначений згідно з 4.7 (2).

7.6 Підвищення температури сталі

7.6.1 Внутрішні сталеві конструкції без вогнезахисту

1) Для еквівалентного рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі, підвищення температури $\Delta\theta_{a,t}$ в сталевій конструкції без вогнезахисту упродовж проміжку часу Δt потрібно визначати таким чином:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (7.58)$$

де

k_{sh}	коефіцієнт поправки на коефіцієнт затінення (див. (2));
A_m/V	коефіцієнт поперечного перерізу для сталевих конструкцій без вогнезахисту [m^{-1}];
A_m	площа поверхні конструкції, яка зазнає вогневого впливу, що припадає на одиницю довжини [m^2/m];
V	об'єм конструкції, що припадає на одиницю довжини [m^3/m];
c_a	питома теплоємність сталі [Дж/(кг·К)];
$\dot{h}_{net,d}$	розрахункове значення результативного теплового потоку, що припадає на одиницю площі [Вт/ m^2];
Δt	проміжок часу [с];
ρ_a	густина сталі [кг/ m^3].

Формули для визначення розрахункових значень коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V для сталевих конструкцій без вогнезахисту можна брати з таблиці 7.4.

Примітка. Специфічні значення коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V для балок з великими отворами в ребрі подано в додатку Е.

(2) Для двотаврових профілів за номінальних вогневих впливів, коефіцієнт поправки для ефекту затінення можна визначати таким чином:

$$k_{sh} = 0,9 [A_m/V]_b / [A_m/V] \quad (7.59)$$

Де

$[A_m/V]_b$ коробчастий коефіцієнт поперечного перерізу, визначений як співвідношення між площею відкритої поверхні уявного обмежувального короба навколо профілю і об'ємом сталі, як вказано в таблиці 7.5, $[m^{-1}]$.

У решті випадків значення k_{sh} потрібно приймати таким:

$$k_{sh} = [A_m/V]_b / [A_m/V] \quad (7.60)$$

Примітка 1. Для поперечних перерізів опуклої форми (наприклад, прямокутних або круглих порожнистих профілів), повністю охоплених полум'ям, ефект затінення не відіграє ролі і, відповідно, коефіцієнт поправки k_{sh} дорівнює одиниці.

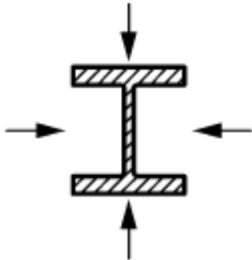
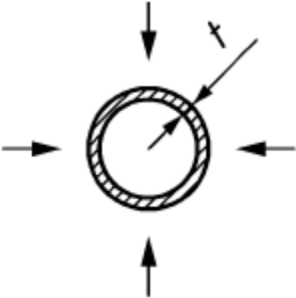
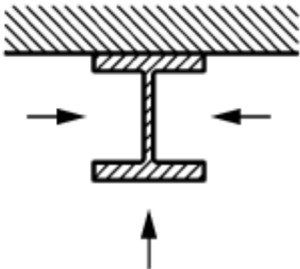
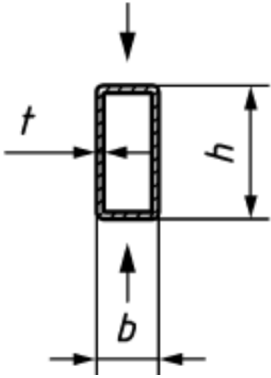
Примітка 2. Нехтування ефектом затінення (тобто прийняття $k_{sh} = 1$) призводить до консервативних рішень.

(3) Величину $\dot{h}_{net,d}$ потрібно визначати згідно з EN 1991-1-2, приймаючи $\varepsilon_f = 1,0$, а також приймаючи ε_m згідно з 5.2.1.1, де ε_f та ε_m відповідають значенням, поданим в EN 1991-1-2. Значення ε_m для нержавіючих сталей подано в додатку С.

(4) Значення Δt не дозволено приймати таким, яке перевищує 5 с.

5) У формулі (7.58), значення коефіцієнта поперечного перерізу A_m/V не дозволено приймати меншим за $10 m^{-1}$.

Таблиця 7.4 — Коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V для сталевих конструкцій без вогнезахисту

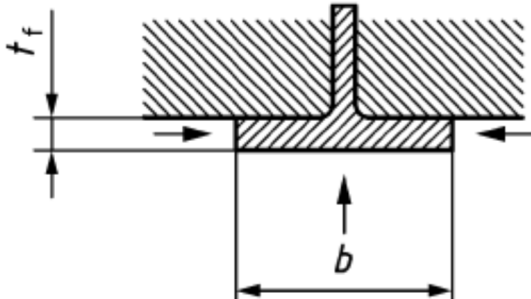
Відкритий профіль, що зазнає вогневого впливу з усіх боків: $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{периметр}}{\text{площа поперечного перерізу}}$ 	Труба, що зазнає вогневого впливу з усіх боків: $A_m/V = 1/t$ 
Відкритий профіль, що зазнає вогневого впливу з трьох боків: $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{довжина контуру, що зазнає вогневого впливу}}{\text{площа поперечного перерізу}}$ 	Порожнистий профіль (або зварний коробчастий профіль рівномірної товщини), що зазнає вогневого впливу з усіх боків: Якщо $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$ 

Продовження таблиці 7.4

Фланець таврового профілю, що зазнає вогневого впливу з трьох боків:

$$A_m/V = 1/t = (b + 2t_f)/(bt_f)$$

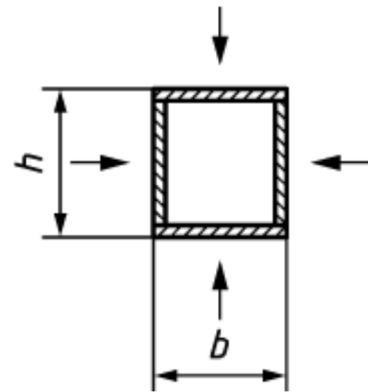
Якщо $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$



Зварний коробчастий профіль, що зазнає вогневого впливу з усіх боків:

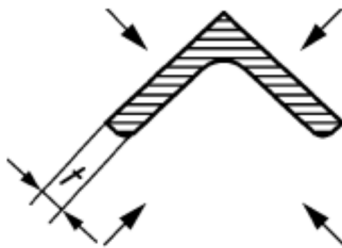
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{площа поперечного перерізу}}$$

Якщо $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$



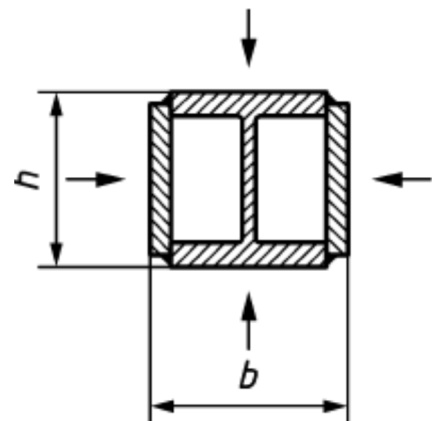
Кутик, що зазнає вогневого впливу з усіх боків:

$$A_m/V \approx 2/t$$

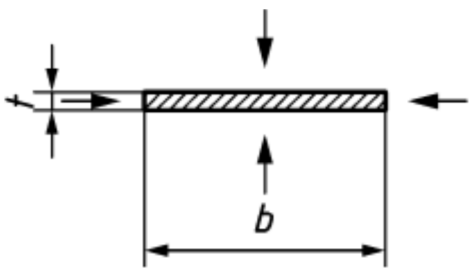
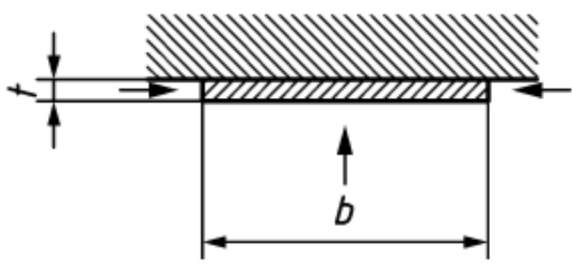


Двотавровий профіль з коробчастим армуванням, що зазнає вогневого впливу з усіх боків:

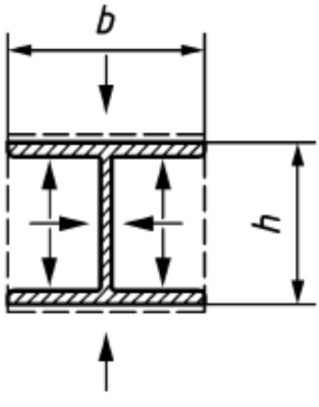
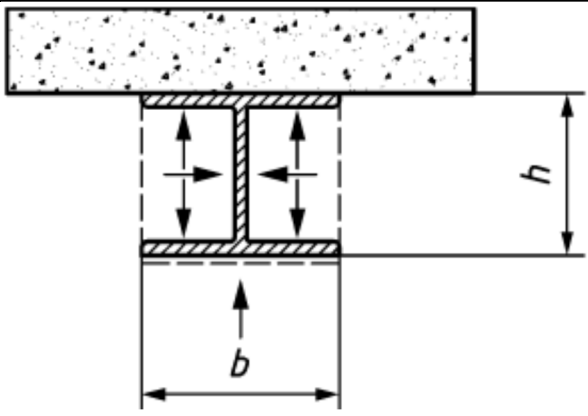
$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{площа поперечного перерізу}}$$



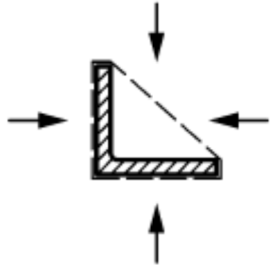
Кінець таблиці 7.4

Плоска балка, що зазнає вогневого впливу з усіх боків: $A_m/V = 2(b + t)/(bt)$ Якщо $t \ll b$: $A_m/V \approx 2/t$ 	Плоска балка, що зазнає вогневого впливу з трьох боків: $A_m/V = (b + 2t)/(bt)$ Якщо $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$ 
--	--

Таблиця 7.5 — Коефіцієнт поперечного перерізу $[A_m/V]_b$ для сталевих конструкцій без вогнезахисту

Ескіз	Коефіцієнт поперечного перерізу $[A_m/V]_b$
	$\frac{2(b + h)}{\text{площа поперечного перерізу сталевих конструкцій}}$
	$\frac{b + 2h}{\text{площа поперечного перерізу сталевих конструкцій}}$

Кінець таблиці 7.5

	$\frac{\text{периметр коробчастої конструкції}}{\text{площа поперечного перерізу сталевої конструкції}}$
---	--

7.6.2 Внутрішні сталеві конструкції, теплоізовані вогнезахисним матеріалом

(1) Для рівномірного розподілу температури в поперечному перерізі, підвищення температури $\Delta\theta_{a,t}$ теплоізованої сталевої конструкції упродовж проміжку часу Δt потрібно визначати за формулою

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a} \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (7.61)$$

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

В якій

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V \quad (7.62)$$

де

A_p/V коефіцієнт поперечного перерізу сталевих конструкцій, теплоізованих вогнезахисним матеріалом, $[m^{-1}]$;

A_p відповідна площа вогнезахисного матеріалу, що припадає на одиницю довжини конструкції, $[m^2/m]$;

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

V об'єм конструкції, що припадає на одиницю її довжини, $[м^3/м]$;

c_a залежна від температури питома теплоємність сталі згідно з розділом 5, $[Дж/(кг \cdot K)]$;

c_p незалежна від температури питома теплоємність вогнезахисного матеріалу, $[Дж/(кг \cdot K)]$;

d_p товщина вогнезахисного матеріалу, $[м]$;

Δt проміжок часу, $[секунди]$;

$\Delta \theta_{a,t}$ температура сталі в момент часу t $[^{\circ}C]$;

$\theta_{g,t}$ температура навколишнього газового середовища в момент часу t , $[^{\circ}C]$;

$\Delta \theta_{g,t}$ підвищення температури навколишнього газового середовища упродовж проміжку часу Δt , $[K]$;

λ_p коефіцієнт теплопровідності системи вогнезахисту, $[Вт/(м \cdot K)]$;

ρ_a густина сталі згідно з розділом 5, $[кг/м^3]$;

ρ_p густина вогнезахисного матеріалу, $[кг/м^3]$.

(2) Значення c_p , λ_p та ρ_p потрібно визначати, як вказано в 5.2.3.

(3) Значення Δt не дозволено приймати більшим за 30 с.

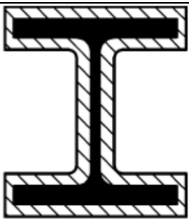
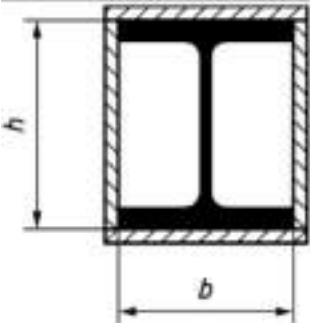
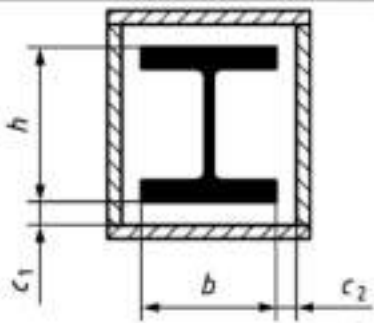
(4) За площу A_p вогнезахисного матеріалу потрібно приймати, як правило, площу його внутрішньої поверхні, проте для порожнистої оболонки із проміжком навколо сталеві конструкції дозволено приймати таке саме значення, як для порожнистої оболонки без проміжку.

Деякі розрахункові значення коефіцієнта поперечного перерізу A_p/V для теплоізованих сталевих конструкцій подано в таблиці 7.6.

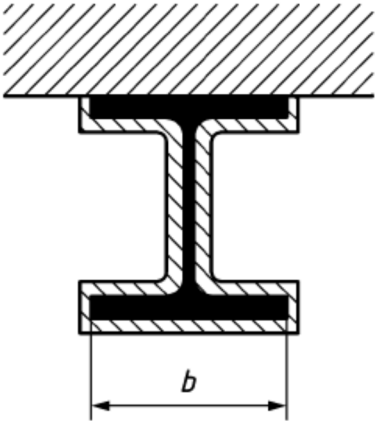
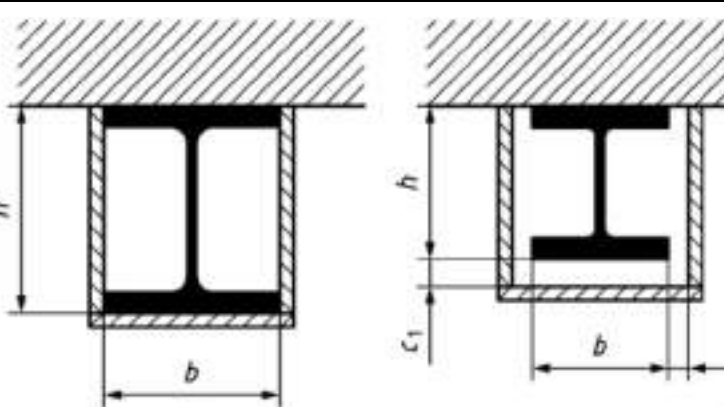
(5) Наявність води у складі вогнезахисних матеріалів призводить до тимчасової затримки в підвищенні температури сталі приблизно в межах 100 °C. Цей проміжок часу затримки потрібно визначати за методом, що відповідає EN 13381-4.

(6) Як альтернатива 7.6.2 (1), однорідну температуру теплоізованої сталеві конструкції після заданого проміжку часу дії стандартного вогневого впливу можна визначати, користуючись блок-схемами розрахунку, розробленими з дотриманням положень EN 13381-4.

Таблиця 7.6 — Коефіцієнт поперечного перерізу A_p/V для сталевих конструкцій, теплоізованих вогнезахисним матеріалом

Ескіз	Опис	Коефіцієнт поперечного перерізу (A_p/V)
	Контурна оболонка рівномірної товщини	$\frac{\text{периметр}}{\text{площа поперечного перерізу сталеві конструкції}}$
 	Порожниста оболонка рівномірної товщини ^a	$\frac{2(b+h)}{\text{площа поперечного перерізу сталеві конструкції}}$

Кінець таблиці 7.6

	Контурна оболонка рівномірної товщини, що зазнає вогневого впливу з трьох боків	$\frac{\text{периметр} - b}{\text{площа поперечного перерізу сталеві конструкції}}$
	Порожниста оболонка рівномірної товщини, що зазнає вогневого впливу з трьох боків^a	$\frac{b+2h}{\text{площа поперечного перерізу сталеві конструкції}}$
^a Розміри проміжків c_1 та c_2, як правило, не повинні перевищувати $h/4$		

7.6.3 Внутрішні сталеві конструкції в порожнині, захищені теплозахисними екранами

(1) Подані нижче положення застосовні в обох таких випадках:

- сталеві конструкції в порожнині, над якими розташовано перекриття, а під якими — горизонтальний теплозахисний екран; і
- сталеві конструкції в порожнині, з обох боків від яких розміщено вертикальні теплозахисні екрани,

за умови що в обох випадках наявний проміжок між теплозахисним екраном і конструкцією. Вони незастосовні, якщо теплозахисний екран безпосередньо контактує з конструкцією.

(2) Для внутрішніх сталевих конструкцій, захищених теплозахисними екранами, розрахунок підвищення температури сталі $\Delta\theta_a$ має ґрунтуватися на методах, поданих в 7.6.1 або 7.6.2 у міру їх застосовності з урахуванням температури навколишнього газового середовища $\Delta\theta_{g,t}$, яка дорівнює температурі газового середовища в порожнині.

(3) Властивості та особливості поведінки теплозахисних екранів, використовуваних в розрахунку, мають бути такими, які визначено із застосуванням процедури випробування, що відповідає EN 13381-1 або EN 13381-2 у міру їх застосовності.

(4) Змінювання температури в порожнині, де розташовано сталеві конструкції, потрібно визначати вимірюванням згідно з EN 13381-1 або EN 13381-2 у міру їх застосовності.

7.6.4 Зовнішні сталеві конструкції

(1) Температуру зовнішніх сталевих конструкцій потрібно визначати з урахуванням:

- теплового потоку випромінювання від протипожежного відсіку;
- теплових потоків випромінювання та конвекції від полум'я, що проходять крізь прорізи;
- тепловтрат випромінюванням та конвекцією від сталевих конструкцій до навколишнього газового середовища;
- геометричних розмірів та місцеположення елементів конструкційної системи.

(2) Теплозахисні екрани можна передбачати з одного, двох або трьох боків від зовнішньої сталеві конструкції з метою її захисту від теплообміну випромінюванням.

(3) Теплозахисні екрани мають бути:

— прикріпленими безпосередньо до того боку сталевій конструкції, захист якої передбачено, або

— достатньо великими для повного екранування цього боку від теплового потоку випромінювання.

(4) Теплозахисні екрани, про які йдеться в додатку В, мають бути негорючими і мати клас вогнестійкості не нижче ніж EI 30 згідно з EN 13501-2.

(5) Температуру в зовнішніх сталевих конструкціях, споряджених теплозахисними екранами, потрібно визначати згідно з вимогами 7.6.4

(1) виходячи з припущення про відсутність теплообміну випромінюванням до тих боків, які споряджено теплозахисними екранами.

(6) Розрахунки можуть ґрунтуватися на стаціонарних умовах, які виникають в результаті стаціонарного теплового балансу, з використанням методів, поданих в додатку В.

(7) Розрахунок з використанням додатка В цього стандарту має ґрунтуватися на моделі, поданій в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), яка описує умови під час пожежі в протипожежному відсіку і теплове випромінювання полум'я крізь прорізи та на якій має ґрунтуватися розрахунок теплових потоків випромінювання та конвекції.

8 Уточнені методи розрахунку

8.1 Загальні положення

(1) Уточнені методи розрахунку мають ґрунтуватися на фундаментальних принципах змінювання фізичних параметрів із застосуванням рівнянь локальної рівноваги, які виконуються в кожній точці конструкційної системи.

Примітка. Розрахунки проводять, користуючись числовими моделями, які ґрунтуються на методі аналізування скінченних елементів або інших відповідних уточнених процедурах. Розв'язання рівнянь уточненого методу розрахунку

забезпечує визначення фізичної величини у великій кількості точок або вузлів, наприклад, температур у профілі, зміщення за довжиною конструкції.

(2) Виникненню будь-якого можливого режиму досягнення граничного стану, який не враховує уточнений метод розрахунку (наприклад, локальний згин або руйнування внаслідок зсуву) необхідно запобігати вжиттям відповідних заходів, як-от, наприклад, передбаченням специфічних конструкційних особливостей.

(3) Уточнені методи розрахунку можуть передбачати використання окремих моделей розрахунку для визначення:

— Розвитку і розподілу температури в межах елементів конструкційної системи (модель теплового відгуку);

— Змінювання механічних характеристик конструкційної системи або будь-якої з її частин (модель механічного відгуку).

(4) Уточненими методами розрахунку можна користуватися в частині будь-яких чинників теплового впливу за умови, що відомі властивості матеріалу для відповідного температурного інтервалу.

(5) Уточненими методами розрахунку можна користуватися для будь-яких типів поперечних перерізів.

(6) Уточненими моделями для розрахунку можна користуватися у випадках, коли необхідна інформація про динаміку напруження і подовження, деформацій та/або температурних полів.

8.2 Теплотехнічний розрахунок

(1) Уточнені методи визначення теплової чутливості мають ґрунтуватися на визнаних принципах та припущеннях теорії теплообміну.

(2) Модель теплового відгуку має враховувати:

— відповідні чинники теплового впливу, названі в EN 1991-1-2;

— залежні від температури теплові властивості матеріалів (див. 5.2);

(3) Результати нерівномірного теплового впливу та теплообміну до сусідніх компонентів будівлі можна враховувати у випадках, коли це необхідно.

(4) Впливами вологості, а також міграції води всередині вогнезахисних матеріалів, застосовуючи консервативний підхід, можна нехтувати.

8.3 Статичний розрахунок

(1) Уточнені методи розрахунку, використовувані для статичного розрахунку, мають ґрунтуватися на визнаних принципах та припущеннях теорії будівельної механіки.

(2) Модель механічного відгуку має враховувати:

— температури матеріалів, розраховані згідно з 8.2;

— залежні від температури механічні властивості матеріалів (див. 5.3).

(3) Необхідно враховувати наслідки подовжень і напружень, спричинених підвищенням температури, а також перепади температури;

(4) Модель механічного відгуку має враховувати також:

— геометричні неоднорідності;

— нелінійні геометричні ефекти;

— нелінійне змінювання властивостей матеріалів включно з впливами прикладання навантаження та його зняття на жорсткість будівельних конструкцій.

(5) Метод розрахунку має враховувати сумісність усіх частин конструкційної системи.

(6) Деформації, визначені із застосуванням методу розрахунку, не повинні бути такими, які призводять до досягнення граничного стану через втрату належного кріплення однією з конструкцій.

(7) Якщо користуються залежностями між напруженням і подовженням, поданими в 5.3, то точним урахуванням наслідків базової пластичної інформації можна знехтувати.

(8) Для статичного розрахунку теплоізованих конструкцій потрібно приймати максимальну початкову синусоїдальну однорідність на середині довжини не більшою за $l/1000$, якщо її не регламентовано відповідними стандартами щодо продукції, де l — довжина конструкції.

8.4 Валідація уточнених методів розрахунку

(1) Верифікацію точності розрахункових моделей потрібно здійснювати на основі відповідних результатів випробувань.

(2) Результати розрахунків можуть стосуватися температур, деформацій та проміжків часу збереженості вогнестійкості.

(3) Необхідно перевіряти критично значимі параметри, аби переконатися у відповідності моделі усталеним інженерним принципам, методом аналізування чутливості.

Примітка. До критично значимих параметрів належать, наприклад, довжина ділянки згину, геометричні розміри конструкцій та рівень навантаження.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)
ДЕФОРМАЦІЙНЕ ЗМІЦНЕННЯ СТАЛІ ЗА ПІДВИЩЕНИХ
ТЕМПЕРАТУР

А.1 Призначення додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення щодо залежності між напруженням і подовженням конструкційної сталі, визначення щодо якого подано в 5.3.1.1, для температур нижче ніж 400 °С.

А.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності

(1) Цей обов'язковий додаток застосовний до сталі марок до S700, які зазнають розтягу або стискання.

(2) Ефект деформаційного зміцнення потрібно враховувати тільки в тому випадку, якщо розрахунок ґрунтується на користуванні уточненими методами розрахунку згідно з розділом 8.

(3) Якщо застосовують цей обов'язковий додаток А, то потрібно підтверджувати, що локальні граничні стани (тобто локальний згин, руйнування через зсув тощо) унаслідок збільшених розтягів не виникають.

А.3 Залежності між напруженням і подовженням за підвищених температур для конструкційної сталі

(1) Для температур, нижчих за 400 °С, альтернативне деформаційне зміцнення, згадане в 5.3, потрібно враховувати таким чином:

— для $0,02 < \varepsilon_\theta < 0,04$:

$$\sigma_\theta = 50(f_{u,\theta} - f_{y,\theta})\varepsilon_\theta + 2f_{y,\theta} - f_{u,\theta} \quad (\text{A.1})$$

— для $0,04 \leq \varepsilon_\theta \leq 0,15$:

$$\sigma_\theta = f_{u,\theta} \quad (\text{A.2})$$

— для $0,15 < \varepsilon_\theta < 0,20$:

$$\sigma_\theta = f_{u,\theta}[1 - 20(\varepsilon_\theta - 0,15)] \quad (\text{A.3})$$

— для $\varepsilon_\theta \geq 0,20$:

$$\sigma_\theta = 0 \quad (\text{A.4})$$

де

$f_{u,\theta}$ межа міцності за підвищеної температури, що враховує деформаційне зміцнення.

Примітка. Альтернативну залежність між напруженням і подовженням для сталі, що враховує деформаційне зміцнення, проілюстровано на рисунку А.1.

(2) Межу міцності за підвищеної температури, що враховує деформаційне зміцнення, потрібно визначати таким чином:

— для $\theta_a < 300\text{ }^\circ\text{C}$:

$$f_{u,\theta} = 1,25f_{y,\theta} \quad (\text{A.5})$$

— для $300\text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_a < 400\text{ }^\circ\text{C}$:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}(2 - 0,0025\theta_a) \quad (\text{A.6})$$

— для $\theta_a \geq 400 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} \quad (\text{A.7})$$

Примітка. Варіації альтернативної залежності між напруженням і подовженням проілюстровано на рисунку А.2.

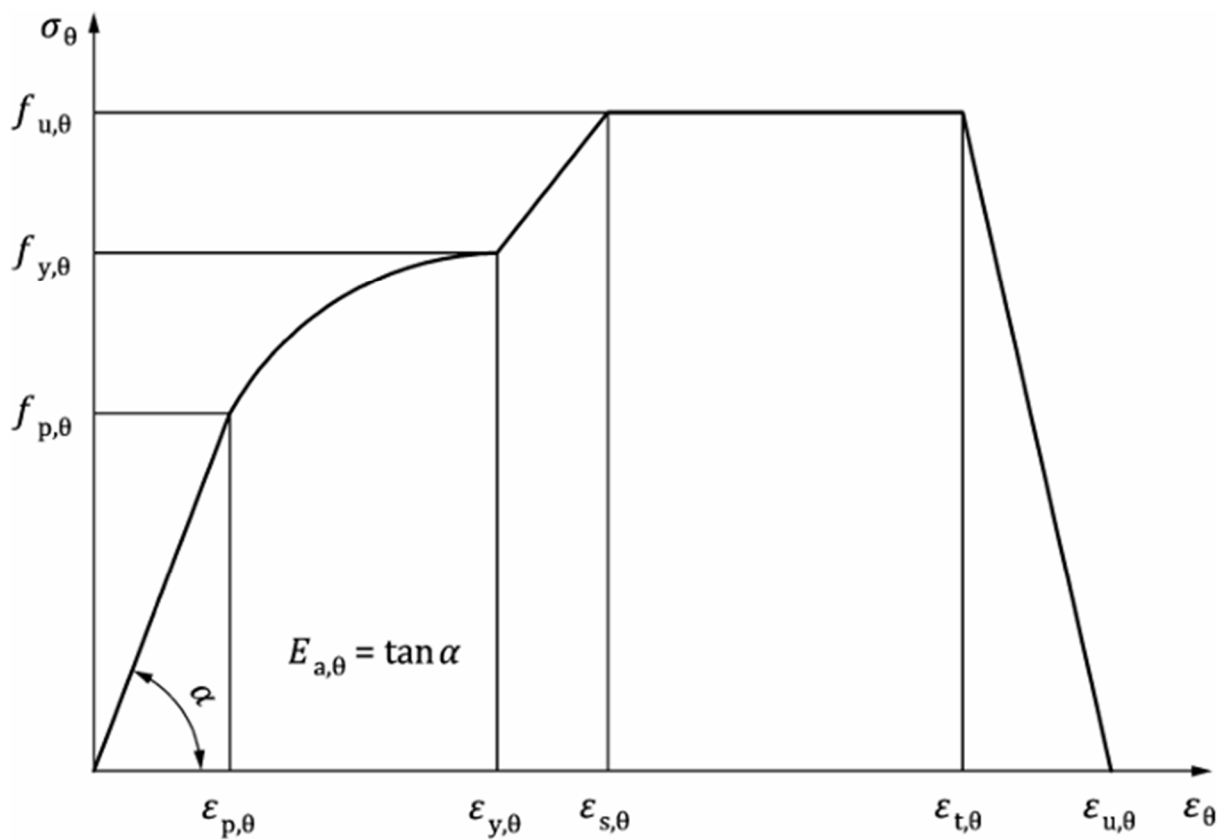


Рисунок А.1 — Форма альтернативної залежності між напруженням і подовженням для сталі, що може зазнавати деформаційного зміцнення

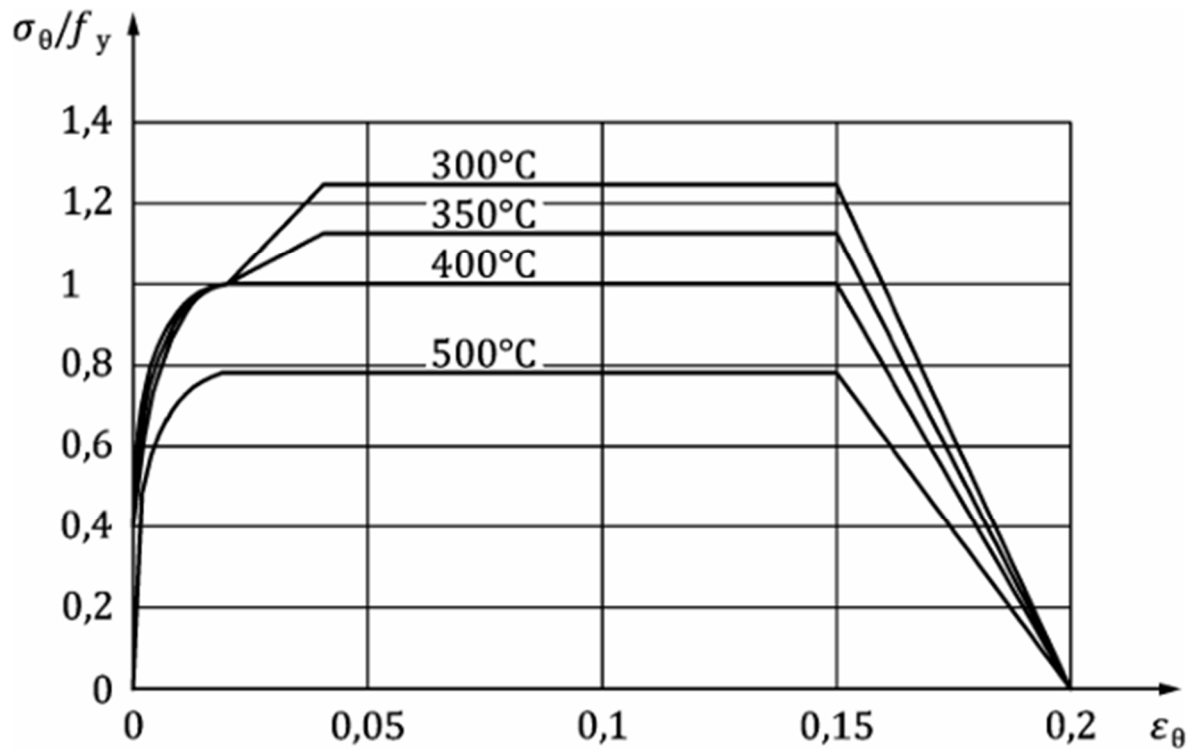


Рисунок А.2 — Альтернативні залежності між напруженням і розтягом для сталі, що може зазнавати деформаційного зміцнення, за підвищених температур

Додаток В

(обов'язковий)

ТЕПЛООБМІН ІЗ ЗОВНІШНІМИ СТАЛЕВИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

В.1 Призначення додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові до 7.6.4 положення щодо розрахунку температур зовнішніх сталевих конструкцій.

В.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності

(1) Цей обов'язковий додаток стосується сталевих конструкцій, розташованих поза межами огороження будівлі, на які впливає полум'я, що виходить крізь прорізи в будівлі.

(2) Протипожежний відсік, в якому триває пожежа, вважають таким, що займає лише один поверх. Усі вікна або інші подібні прорізи в протипожежному відсіку вважають прямокутними.

(3) Визначення температури в протипожежному відсіку, де триває пожежа, геометричних розмірів і температури полум'я, яке виходить крізь прорізи, а також параметри випромінювання та конвекції потрібно проводити згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток В).

В.3 Загальні положення

В.3.1 Основоположні принципи

(1) Необхідно розрізняти конструкції, не охоплені полум'ям, і конструкції, охоплені ним, залежно від їх місцеположення відносно прорізів у стінах протипожежного відсіку.

(2) Конструкцію, не охоплену полум'ям, вважають такою, яка сприймає теплоту, що надходить випромінюванням від усіх прорізів на відповідному боці протипожежного відсіку, а також від полум'я, яке проходить крізь усі ці прорізи.

(3) Конструкцію, охоплену полум'ям, вважають такою, яка сприймає теплоту, що надходить конвекцією від полум'я, яким цю конструкцію охоплено, а також теплоту, що надходить випромінюванням від полум'я, яким її охоплено, та від прорізу в протипожежному відсіку, крізь який проходить полум'я. Надходженням теплоти випромінюванням від полум'я в інших місцях або від інших прорізів можна знехтувати.

В.3.2 Умовності щодо геометричних розмірів

(1) Умовності щодо геометричних розмірів подано на рисунку В.1.

В.3.3 Тепловий баланс

(1) Для конструкції, не охопленої полум'ям, середню температуру сталевих конструкцій T_m [К] потрібно визначати розв'язанням такого рівняння стаціонарного теплового балансу:

$$\sigma T_m^4 + \alpha_c T_m = \sum I_z + \sum I_f + 293\alpha_c \quad (\text{В.1})$$

Де

σ стала Стефана — Больцмана [$5,67 \times 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)];

α_c коефіцієнт тепловіддачі конвекцією [Вт/(м²·К)];

I_z щільність теплового потоку випромінювання від полум'я згідно з В.3.3 (4) [Вт/м²];

I_f щільність теплового потоку випромінювання від прорізу

(2) Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією α_c потрібно визначати згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток В) для умов відсутності механічної тяги або для умов її наявності у міру застосовності, користуючись ефективним геометричним розміром поперечного перерізу $d_{eq} = (d_1 + d_2)/2$.

1) Колонна навпроти прорізу (вид в плані)		2) Колонна між прорізами (вид в плані)	
а) Колони			
1) Балка, паралельн а до стіни (переріз)		2) Балка, перпендикуляр на до стіни (переріз)	

Умовні позначки:

(1), (2), (3), (4) позначки поверхонь конструкцій

Рисунок В.1 — Геометричні розміри та поверхні конструкції

(3) Для конструкції, охопленої полум'ям, середню температуру сталевих конструкцій T_m [K] потрібно визначати розв'язанням такого рівняння стаціонарного теплового балансу:

$$\sigma T_m^4 + \alpha_c T_m = I_z + I_f + \alpha_c T_z \quad (\text{B.2})$$

де

T_z — температура полум'я [K];

I_z — тепловий потік випромінювання від полум'я згідно з В.3.3 (4) [Вт/м²];

I_f — тепловий потік випромінювання від прорізу згідно з В.3.3 (5) [Вт/м²];

(4) Тепловий потік випромінювання від полум'я I_z потрібно визначати залежно від ситуації і типу конструкції таким чином:

— Колони, не охоплені полум'ям:

— Балки, не охоплені полум'ям:

— Колони, охоплені полум'ям:

— Балки, повністю або частково охоплені полум'ям:

В інших випадках можна вчиняти аналогічним чином, здійснюючи відповідні адаптування для операцій, викладених в В.4 — В.7.

(5) Тепловий потік випромінювання I_f від прорізу потрібно визначати таким чином:

$$I_f = \phi_f \varepsilon_f (1 - a_z) \sigma T_f^4 \quad (\text{B.3})$$

де

ϕ_f — загальний кутовий коефіцієнт конструкції для теплообміну випромінюванням від цього прорізу;

ε_f — коефіцієнт теплового випромінювання прорізу;

a_z — коефіцієнт поглинання полум'я;

T_f — температура в протипожежному відсіку [K] згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток B).

(6) Коефіцієнт теплового випромінювання ε_f прорізу потрібно приймати таким, що дорівнює одиниці (див. EN 1991-1-2:2024 (додаток B)).

(7) Коефіцієнт поглинання a_z полум'я потрібно визначати згідно з B.4 — B.7 у міру їх застосовності.

B.3.4 Загальні кутові коефіцієнти

(1) Загальний кутовий коефіцієнт ϕ_f конструкції для теплообміну випромінюванням від прорізу потрібно визначати згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток B).

(2) Кутовий коефіцієнт $\phi_{z,i}$ для поверхні конструкції, з якої полум'я невидиме, потрібно приймати таким, що дорівнює нулеві.

(3) Поверхня конструкції може бути захищеною теплозахисним екраном (див. 7.6.4). Поверхню конструкції, яка безпосередньо прилягає до стіни протипожежного відсіку, також можна вважати захищеною за умови, що на цій частині стіни немає прорізів. Решту поверхонь конструкцій потрібно вважати незахищеними.

B.4 Колона, не охоплена полум'ям

B.4.1 Теплообмін випромінюванням

(1) Потрібно розрізняти колону, розташовану навпроти прорізу, і колону, розташовану між прорізами.

Примітка. Ілюстрації подано на рисунку В.4.

(2) Якщо колону розташовано навпроти прорізу, то тепловий потік випромінювання I_z від полум'я потрібно визначати таким чином:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{В.4})$$

де

ϕ_z — загальний кутовий коефіцієнт колони для теплообміну від полум'я (див. В.3.4);

ε_z — коефіцієнт теплового випромінювання полум'я (див. В.4.2);

T_z — температура полум'я [К] згідно з В.4.3.

Примітка. Ілюстрації подано на рисунку В.3.

(3) Якщо колону розташовано між прорізами, то тепловий потік випромінювання I_z від полум'я потрібно визначати таким чином:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{В.5})$$

де

$\phi_{z,m}$ — загальний кутовий коефіцієнт колони для теплообміну від полум'я на боці m (див. В.3.4);

$\phi_{z,n}$ — загальний кутовий коефіцієнт колони для теплообміну від полум'я на боці n (див. В.3.4);

$\varepsilon_{z,m}$ — загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я на боці m (див. В.4.2);

$\varepsilon_{z,n}$ — загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я на боці n (див. В.4.2).

Примітка. Ілюстрації подано на рисунку В.4.

В.4.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я

(1) Якщо колону розташовано навпроти прорізу, то коефіцієнт теплового випромінювання полум'я ε_z потрібно визначати з виразу для ε , поданого в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), використовуючи значення найширшої частини полум'я d_f на рівні верху прорізів. За відсутності навісу або балкона над прорізом, d_f можна приймати таким:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$d_f = 2h_{eq}/3 \quad (B.6)$$

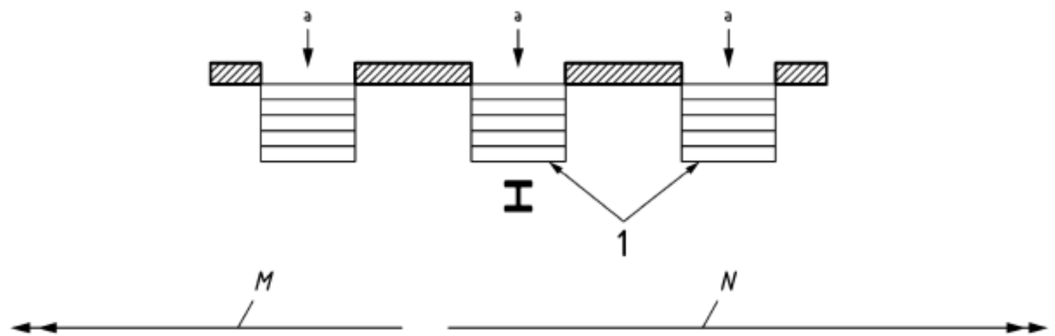
— для умов наявності механічної тяги:

$$d_f = L_H \text{ але } d_f \leq h_{eq}L_H/L_L \quad (B.7)$$

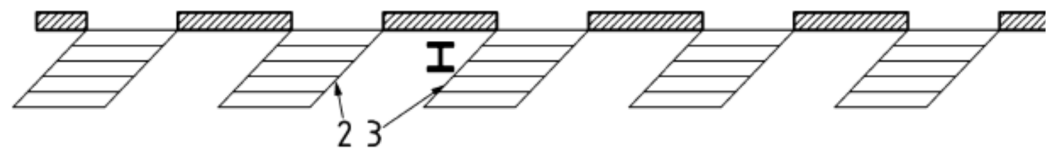
де

h_{eq} , L_H та L_L — значення, подані в EN 1991-1-2:2024 (додаток В).

1) Колон
а
навпроти
прорізу

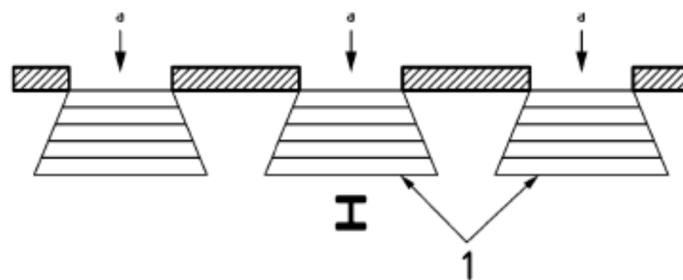


2) Колон
а між
прорізам
и

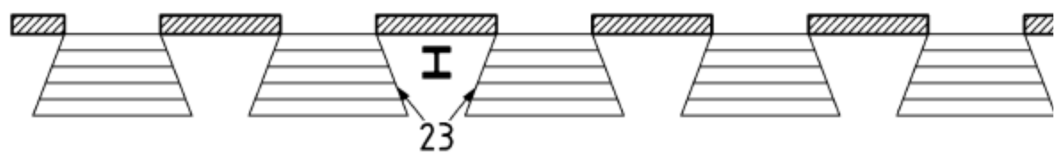


а) Відсутність механічної тяги

1) Колон
а
навпроти
прорізу



2) Колон
а між
прорізам
и



б) Наявність механічної тяги

Умовні позначки:

- 1 полум'я
- 2 бік полум'я m
- 3 бік полум'я n
- a прорізи

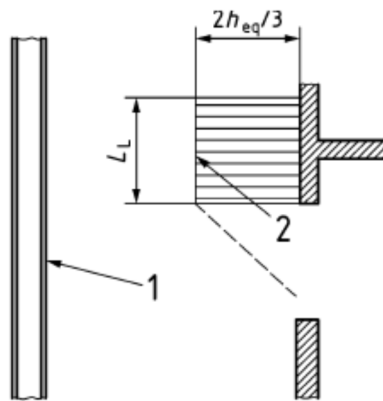
пр ДСТУ EN 1993-1-2_

M кількість прорізів на боці m

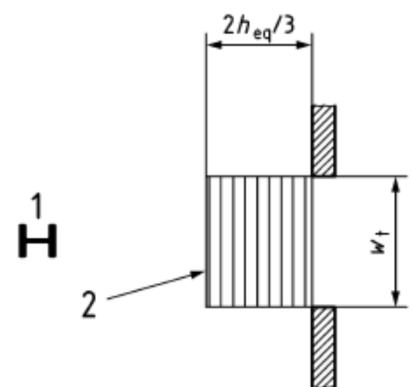
N кількість прорізів на боці n

Рисунок В.2 — Місцезаположення колон

1) Наявність
стіни зверху
та $h_{eq} < 1,25w_t$

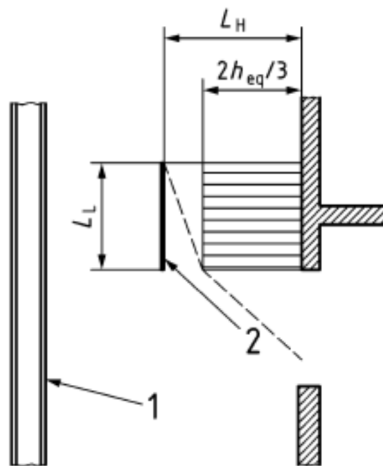


переріз

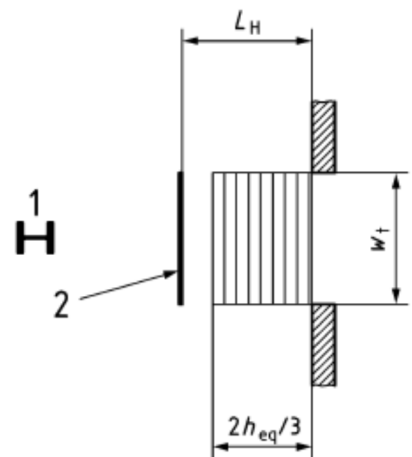


вид в плані

2) $h_{eq} > 1,25w_t$
або
відсутність
стіни зверху

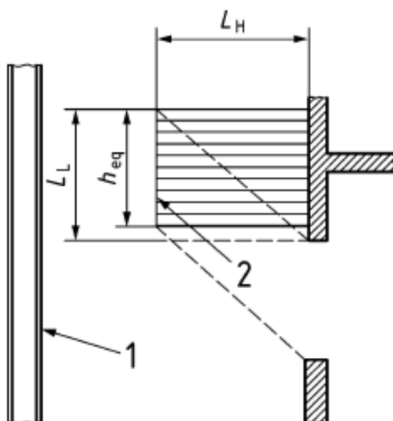


переріз

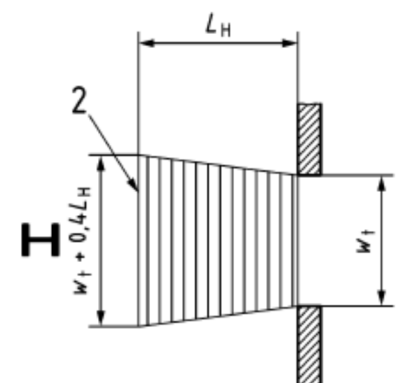


вид в плані

а) Відсутність механічної тяги



переріз



вид в плані

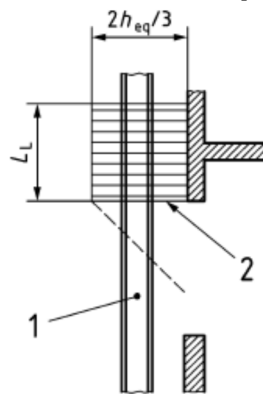
б) Наявність механічної тяги

Умовні позначки:

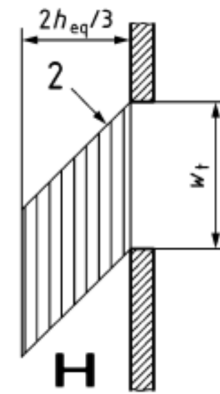
- 1 – колона
2 – еквівалентний передній прямокутник

Рисунок В.3 — Колона навпроти прорізу

- 1) Наявність
стіни зверху
та $h_{eq} < 1,25w_t$

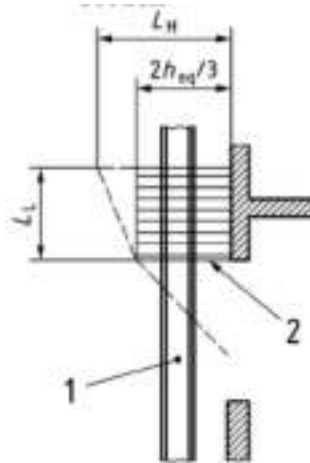


переріз

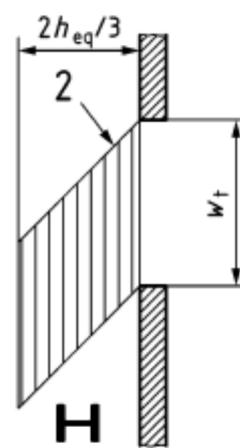


вид в плані

- 2) $h_{eq} > 1,25w_t$
або
відсутність
стіни зверху

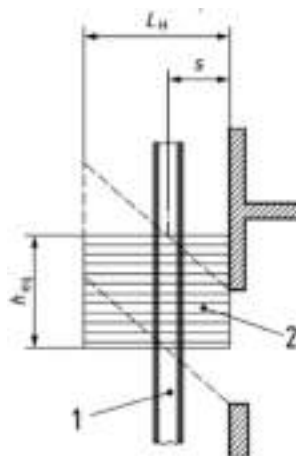


переріз

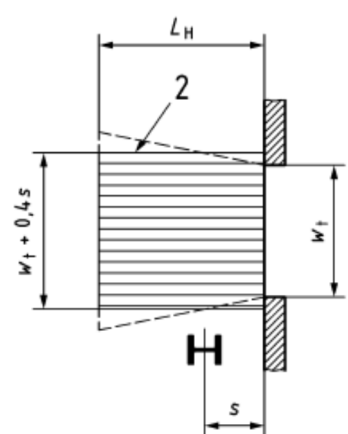


вид в плані

- а) Відсутність механічної тяги



переріз



вид в плані

- б) Наявність механічної тяги

Умовні позначки:

1 – колона

2 – еквівалентний передній прямокутник

Рисунок В.4 — Колона між прорізами

(2) Якщо колону розташовано між двома прорізами, то загальні коефіцієнти теплового випромінювання $\varepsilon_{z,m}$ та $\varepsilon_{z,n}$ полум'я на боках m та n потрібно визначати з виразу для розрахунку ε , поданого в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), використовуючи значення повної найширшої частини полум'я d_f , яку визначають таким чином:

— для боку m :

$$d_f = \sum_{i=1}^M d_{f,i} \quad (\text{В.8})$$

— для боку n :

$$d_f = \sum_{i=1}^N d_{f,i} \quad (\text{В.9})$$

де

M кількість прорізів на боці m ;

N кількість прорізів на боці n ;

$d_{f,i}$ найширша частина полум'я для i -го прорізу.

(3) Найширшу частину полум'я $d_{f,i}$ потрібно приймати такою:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$d_{f,i} = w_{t,i} \quad (\text{В.10})$$

де

$w_{t,i}$ ширина i -го прорізу;

s — відстань у горизонтальній площині від центральної лінії колони до стіни протипожежного відсіку (див. рисунок В.1).

В.4.3 Температура полум'я

(1) За температуру полум'я T_z потрібно приймати температуру на його осі, визначену за виразом для розрахунку T_z , поданим в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), для умов відсутності механічної тяги або для умов її наявності залежно від того, що застосовне, на відстані L_x від прорізу, виміряній вздовж осі полум'я, таким чином:

— для умов відсутності механічної тяги:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$L_x = h_{eq}/2 \quad (\text{В.12})$$

— для умов наявності механічної тяги:

— для колони, протилежної до прорізу:

$$L_x = 0 \quad (\text{В.13})$$

— для колони між прорізами L_x являє собою відстань вздовж осі полум'я до точки, яка знаходиться на відстані s у горизонтальній площині від стіни протипожежного відсіку. Якщо над прорізом немає навісу або балкона, то

$$L_x = sL_f/L_H \quad (\text{В.14})$$

де

L_f та L_H — подано в EN 1991-1-2:2024 (додаток В)

В.4.4 Коефіцієнт поглинання полум'я

(1) Для умов відсутності механічної тяги, коефіцієнт поглинання полум'я a_z потрібно приймати таким, що дорівнює нулеві.

(2) Для умов наявності механічної тяги, коефіцієнт поглинання полум'я a_z потрібно приймати таким, що дорівнює коефіцієнту теплового випромінювання ε_z відповідного полум'я (див. В.4.2).

В.5 Балка, не охоплена полум'ям

В.5.1 Теплообмін випромінюванням

(1) У В.5 виходять з припущення, що рівень нижньої межі балки знаходиться не нижче рівня верху прорізів у протипожежному відсіку.

(2) Необхідно розрізняти балку, паралельну до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, і балку, перпендикулярну до неї (див. рисунок В.5).

(3) Якщо балка паралельна до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, то середню температуру на сталевій конструкції T_m потрібно визначати для точки на прольоті балки, яка знаходиться безпосередньо над центром прорізу. Для цього випадку, тепловий потік випромінювання від полум'я потрібно визначати таким чином:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{В.15})$$

де

ϕ_z загальний кутовий коефіцієнт для полум'я, яке знаходиться безпосередньо навпроти балки (див В.3.4);

ε_z коефіцієнт теплового випромінювання полум'я (див В.5.2);

T_z температура полум'я згідно з В.5.3 [K].

(4) Якщо балка перпендикулярна до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, то середню температуру в балці потрібно визначати в ряді точок, розташованих через кожні 100 мм за довжиною

балки. За середню температуру сталевोї конструкції T_m в такому разі потрібно приймати максимальне з цих значень. Для цього випадку, тепловий потік випромінювання I_z від цього полум'я потрібно визначати таким чином:

$$I_z = (\phi_{z,m}\varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n}\varepsilon_{z,n})\phi_z\varepsilon_z\sigma T_z^4 \quad (B.16)$$

де

$\phi_{z,m}$ загальний кутовий коефіцієнт балки для теплоти від полум'я на боці m (див. B.5.2);

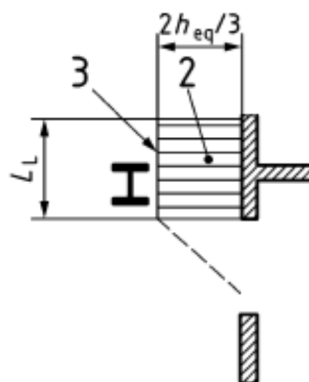
$\phi_{z,n}$ загальний кутовий коефіцієнт балки для теплоти від полум'я на боці n (див. B.5.2);

$\varepsilon_{z,m}$ загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я на боці m (див. B.5.2);

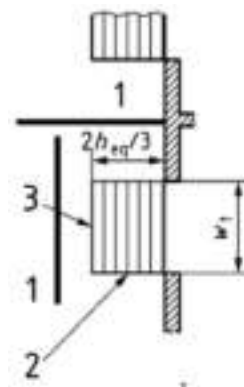
$\varepsilon_{z,n}$ загальний коефіцієнт теплового випромінювання полум'я на боці n (див. B.5.2);

T_z температура полум'я (див. B.5.3).

1) Наявність
стіни зверху
та $h_{eq} < 1,25w_t$

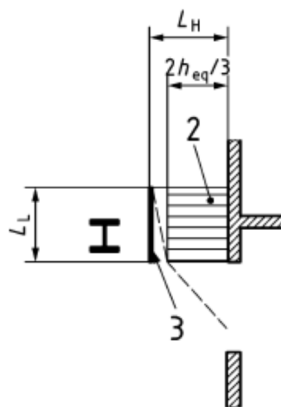


переріз

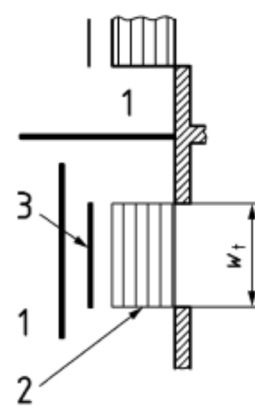


вид в плані

2) $h_{eq} > 1,25w_t$ і
відсутність
стіни зверху

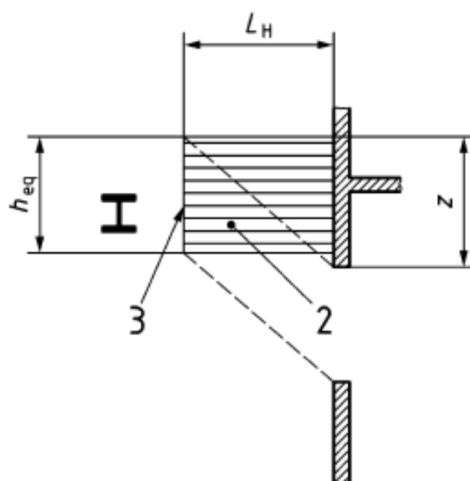


переріз

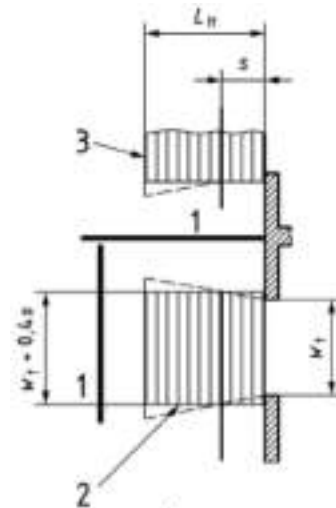


вид в плані

а) Відсутність механічної тяги



переріз



вид в плані

б) Наявність механічної тяги

Умовні позначки:

1 балка

2 еквівалентний боковий прямокутник

3 еквівалентний передній прямокутник

Рисунок В.5 — Балка, не охоплена полум'ям

В.5.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я

(1) Якщо балка паралельна до зовнішньої стіни протипожежного відсіку і знаходиться над прорізом, то коефіцієнт теплового випромінювання полум'я ε_z потрібно визначати з виразу для розрахунку ε , поданого в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), на рівні верху прорізів. За відсутності навісу або балкона над прорізом, d_f можна приймати таким:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$d_f = 2h_{eq}/3 \quad (B.17)$$

— для умов наявності механічної тяги:

$$d_f = L_H \text{ але } d_f \leq h_{eq} L_H/L_L \quad (B.18)$$

де

h_{eq} , L_H та L_L подано в EN 1991-1-2:2024 (додаток В).

(2) Якщо балка перпендикулярна до зовнішньої стіни протипожежного відсіку і знаходиться між двома прорізами, то повні коефіцієнти теплового випромінювання $\varepsilon_{z,m}$ та $\varepsilon_{z,n}$ полум'я на боках m та n потрібно визначати з виразу для розрахунку ε , поданого в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), користуючись таким значенням для найширшої частини полум'я d_f :

— для боку m:

$$d_f = \sum_{i=1}^M d_{f,i} \quad (\text{B.19})$$

— для боку n:

$$d_f = \sum_{i=1}^N d_{f,i} \quad (\text{B.20})$$

де

M — кількість прорізів на боці m;

N — кількість прорізів на боці n;

$d_{f,i}$ найбільша ширина полум'я для i -го прорізу.

—

(3) Найбільшу ширину полум'я $d_{f,i}$ потрібно визначати таким чином:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$d_{f,i} = w_{t,i} \quad (\text{B.21})$$

— для умов наявності механічної тяги:

$$d_{f,i} = w_{t,i} + 0,4s \quad (\text{B.22})$$

Де

$w_{t,i}$ — ширина i -го прорізу;

s — відстань у горизонтальній площині від стіни протипожежного відсіку до точки балки, яку розглядають (див. рисунок В.5).

В.5.3 Температура полум'я

(1) За температуру полум'я T_z потрібно приймати температуру на його осі, визначену з виразу для розрахунку T_z , поданого в EN 1991-1-

2:2024 (додаток В), для умов відсутності механічної тяги або її наявності залежно від того, що застосовне, на відстані L_x від прорізу, виміряній вздовж осі полум'я, таким чином:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$L_x = h_{eq}/2 \quad (B.23)$$

— для умов наявності механічної тяги:

— для балки, паралельної до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, яка знаходиться над прорізом:

$$L_x = 0 \quad (B.24)$$

— для балки, перпендикулярної до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, яка знаходиться між прорізами, L_x являє собою відстань вздовж осі полум'я до точки, що знаходиться на відстані s в горизонтальній площині від стіни протипожежного відсіку. За відсутності навісу або балкона над прорізом

$$L_x = sL_f/L_H \quad (B.25)$$

де

L_f та L_H значення, подані в EN 1991-1-2:2024 (додаток В).

—

В.5.4 Коефіцієнт поглинання полум'я

(1) Для умов відсутності механічної тяги, коефіцієнт поглинання полум'я a_z потрібно приймати таким, що дорівнює нулеві

(2) Для умов наявності механічної тяги, коефіцієнт поглинання полум'я a_z потрібно приймати таким, що дорівнює коефіцієнту теплового випромінювання ε_z відповідного полум'я (див. В.5.2).

В.6 Колона, охоплена полум'ям

(1) Тепловий потік випромінювання I_z від полум'я потрібно визначати за формулою

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2}) \cdot d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4}) \cdot d_2}{(C_1 + C_2) \cdot d_1 + (C_3 + C_4) \cdot d_2} \quad (\text{В.26})$$

в якій

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_z^4 \quad (\text{В.27})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_z^4 \quad (\text{В.28})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma T_z^4 \quad (\text{В.29})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma T_z^4 \quad (\text{В.30})$$

де

$I_{z,i}$ тепловий потік випромінювання від полум'я до i -ї поверхні колони;

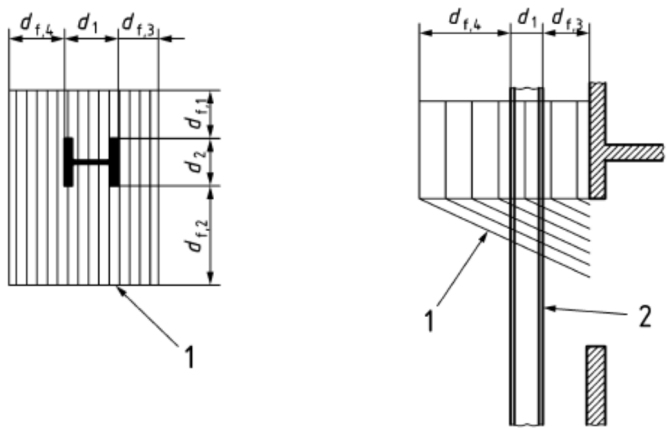
$\varepsilon_{z,i}$ коефіцієнт теплового випромінювання полум'я до i -ї поверхні колони;

i позначка поверхні колони (1), (2), (3) або (4) (див. рисунок В.1);

C_i коефіцієнт захисту i -ї поверхні конструкції (див. В.3.4);

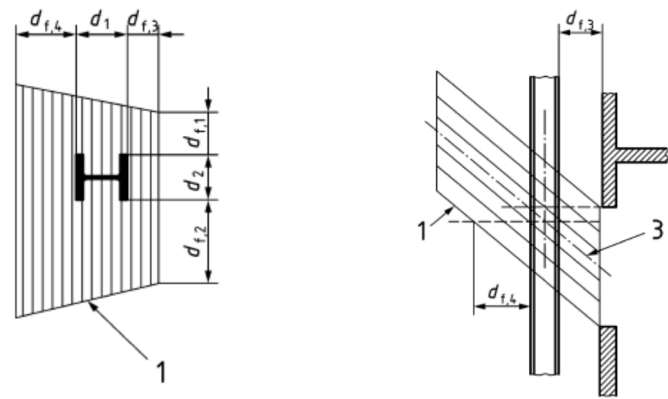
T_z температура полум'я [K];

T_o температура полум'я в прорізі [K], прийнята згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток В).



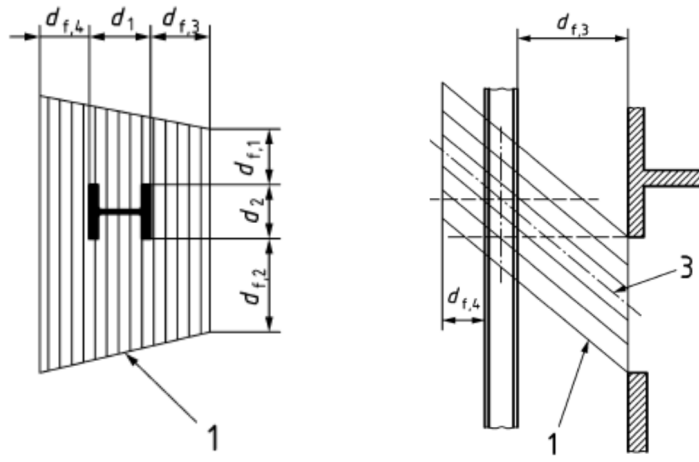
вид в плані переріз
а) Відсутність механічної тяги:

1) Вісь полум'я
перетинає вісь
колону нижче верху
прорізу



вид в плані переріз

2) Вісь полум'я
перетинає вісь
колону вище верху
прорізу



вид в плані переріз

b) Наявність механічної тяги:

Умовні позначки:

- 1 полум'я
- 2 колона
- 3 вісь полум'я

Рисунок В.6 — Колона, охоплена полум'ям

(2) Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я $\varepsilon_{z,i}$ для кожної з 1-ї, 2-ї, 3-ї та 4-ї поверхонь колони потрібно визначати з виразу для розрахунку ε , поданого в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), приймаючи величину найширшої частини полум'я d_f такою, що дорівнює розміру $d_{f,i}$, показаному на рисунку В.6, який стосується і-ї поверхні колони.

(3) Для умов відсутності механічної тяги, потрібно користуватися значеннями $d_{f,i}$ на рівні верху прорізу (див. рисунок В.6 (а)).

(4) Для умов наявності механічної тяги, якщо рівень перетину осі полум'я з центральною лінією колони знаходиться нижче рівня верху прорізу, то потрібно користуватися значеннями $d_{f,i}$ для рівня перетину (див. рисунок В.6 (b) (1)). В іншому разі потрібно користуватися значеннями $d_{f,i}$ для рівня верху прорізу (див. рисунок В.6 (b) (2)), за винятком того, що в разі, коли на цьому рівні $d_{f,4} < 0$, потрібно користуватися значеннями для рівня, на якому $d_{f,4} = 0$.

(5) За температуру полум'я T_z потрібно приймати температуру на його осі, визначену за виразом для розрахунку T_z , поданим в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), для умов відсутності механічної тяги або для умов її наявності залежно від того, що застосовне, на відстані L_x від прорізу, виміряній вздовж осі полум'я, таким чином:

— для умов відсутності механічної тяги:

$$L_x = h_{eq}/2 \quad (B.31)$$

— для умов наявності механічної тяги, L_x являє собою відстань вздовж осі полум'я до рівня, на якому вимірюють $d_{f,i}$. За відсутності прорізу або балкона над прорізом,

$$L_x = (d_{f,3} + 0,5d_1) L_f/L_H \text{ але } L_x \leq 0,5h_{eq} L_f/L_L \quad (\text{B.32})$$

де

L_f , L_H та L_L — значення, подані в EN 1991-1-2:2024 (додаток В)

(6) Коефіцієнт поглинання a_z полум'я потрібно визначати таким чином:

$$a_z = \frac{\varepsilon_{z,1} + \varepsilon_{z,2} + \varepsilon_{z,3}}{3} \quad (\text{B.33})$$

де

$\varepsilon_{z,1}$, $\varepsilon_{z,2}$ та $\varepsilon_{z,3}$ — коефіцієнти теплового випромінювання полум'я для 1-ї, 2-ї та 3-ї поверхонь колони.

В.7 Балка, повністю або частково охоплена полум'ям

В.7.1 Теплообмін випромінюванням

В.7.1.1 Загальні положення

(1) У В.7 виходять з припущення, що рівень нижньої межі балки знаходиться не нижче рівня верху сусідніх прорізів у протипожежному відсіку.

(2) Необхідно розрізняти балку, паралельну до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, і балку, перпендикулярну до неї (див. рисунок В.7).

(3) Якщо балка паралельна до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, то середню температуру на сталевій конструкції T_m потрібно визначати для точки на прольоті балки, яка знаходиться безпосередньо над центром прорізу.

(4) Якщо балка перпендикулярна до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, то середню температуру в балці потрібно визначати в ряді точок, розташованих через кожні 100 мм за довжиною балки. За середню температуру сталевोї конструкції T_m в такому разі потрібно приймати максимальне з цих значень.

(5) Тепловий потік випромінювання I_z від полум'я потрібно визначати таким чином:

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2}) \cdot d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4}) \cdot d_2}{(C_1 + C_2) \cdot d_1 + (C_3 + C_4) \cdot d_2} \quad (\text{B.34})$$

де

I_z тепловий потік випромінювання від полум'я до i -ї поверхні балки;

i позначка поверхні балки (1), (2), (3) або (4) (див. рисунок В.1).

В.7.1.2 Відсутність механічної тяги

(1) Для умов відсутності механічної тяги, потрібно розрізняти випадки, коли верхня частина полум'я знаходиться вище рівня верхньої межі балки, і коли вона знаходиться нижче її рівня.

(2) Якщо верхня частина полум'я знаходиться вище рівня верхньої межі балки, то потрібно застосовувати такі формули:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.35})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_z^4 \quad (\text{B.36})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.37})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.38})$$

де

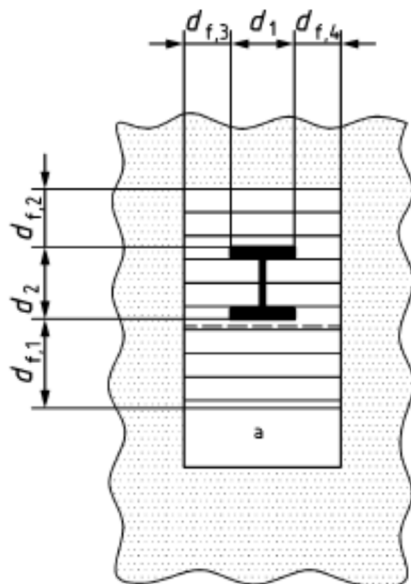
$\varepsilon_{z,i}$ — коефіцієнт теплового випромінювання полум'я в бік i -ї поверхні балки (див. В.7.2);

T_o — температура в прорізі [K], згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток B);

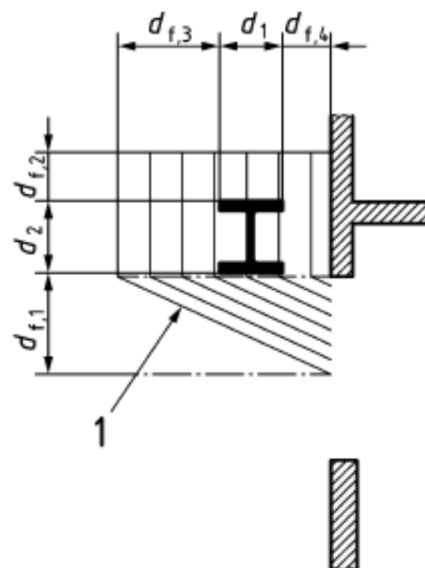
$T_{z,1}$ — температура полум'я [K] згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток B) на висоті, що відповідає рівню нижньої межі балки;

$T_{z,2}$ — температура полум'я [K] згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток B) на висоті, що відповідає рівню верхньої межі балки

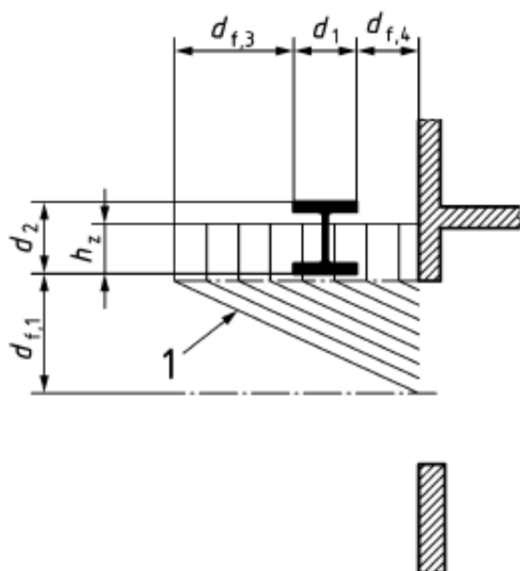
(3) У випадку балки, паралельної до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, C_4 можна приймати таким, що дорівнює нулеві, якщо балка безпосередньо прилягає до стіни (див. рисунок В.7).



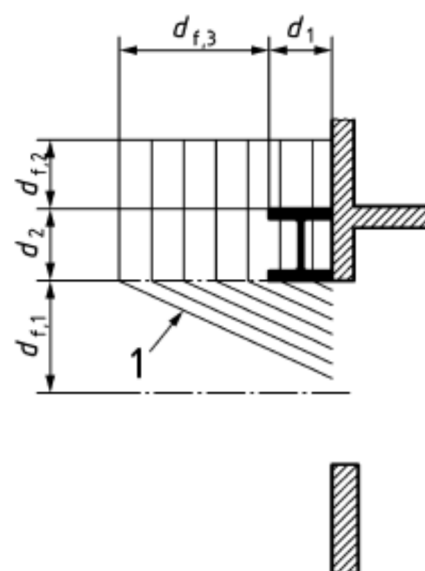
1) Балка, перпендикулярна до стіни (вертикальна проекція)



2) Балка, паралельна до стіни (переріз)

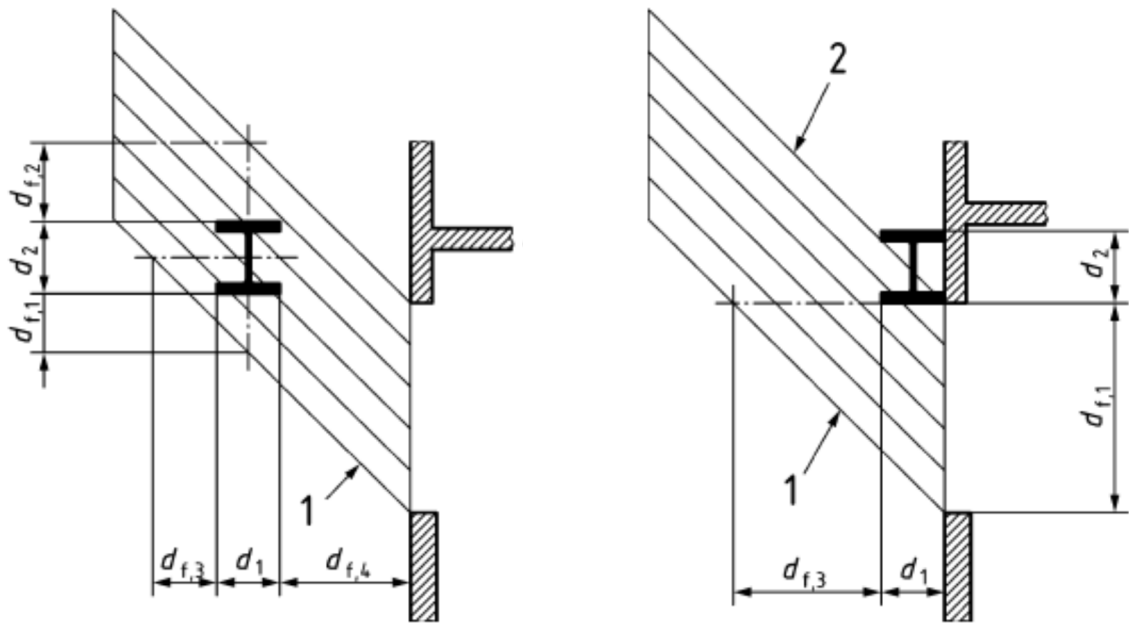


3) Верхня частина полум'я під низом балки (переріз)



4) Балка, яка прилягає безпосередньо до стіни (переріз)

а) Відсутність механічної тяги



- 1) Балка, яка не примикає
безпосередньо до стіни (переріз)
- 2) Балка, яка примикає
безпосередньо до стіни (переріз)

б) Наявність механічної тяги

Умовні позначки:

- 1 полум'я
- 2 зовнішня поверхня полум'я
- а проріз

Рисунок В.7 — Балка, охоплена полум'ям

(4) Якщо верхня частина полум'я знаходиться нижче рівня верхньої межі балки, то потрібно застосовувати такі формули:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.39})$$

$$I_{z,2} = 0 \quad (\text{B.40})$$

$$I_{z,3} = (h_2/d_2) C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.41})$$

$$I_{z,4} = (h_z/d_z)C_4\varepsilon_{z,4}\sigma(T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.42})$$

де

T_x — температура полум'я в верхній частині [813 K];

h_z — висота верхньої частини полум'я відносно нижньої частини балки.

В.7.1.3 Наявність механічної тяги

(1) Для умов наявності механічної тяги, у випадку, якщо балки паралельні до зовнішньої стіни протипожежного відсіку, потрібно розрізняти ті з них, які безпосередньо прилягають до стіни, і ті, які не прилягають до неї безпосередньо.

Примітка. Ілюстрації подано на рисунку В.7.

(2) Для балки, яка паралельна до стіни, але не прилягає до неї безпосередньо, або для балки, перпендикулярної до стіни, потрібно застосовувати такі формули:

$$I_{z,1} = C_1\varepsilon_{z,1}\sigma T_o^4 \quad (\text{B.43})$$

$$I_{z,2} = C_2\varepsilon_{z,2}\sigma T_z^4 \quad (\text{B.44})$$

$$I_{z,3} = C_3\varepsilon_{z,3}\sigma(T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.45})$$

$$I_{z,4} = C_4\varepsilon_{z,4}\sigma(T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.46})$$

(3) Якщо балка паралельна до стіни та безпосередньо прилягає до неї, то охопленою полум'я потрібно вважати лише нижню поверхню, а одну з бокових поверхонь і верх потрібно вважати такими, які сприймають теплове випромінювання, що надходить від верхньої поверхні полум'я (див. рисунок В.7 (b) (2)). Тому

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (B.47)$$

$$I_{z,2} = \phi_{z,2} C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (B.48)$$

$$I_{z,3} = \phi_{z,3} C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 T_{z,2}^4 \quad (B.49)$$

$$I_{z,4} = 0 \quad (B.50)$$

де

$\phi_{z,i}$ кутовий коефіцієнт відносно верхньої поверхні полум'я для i -ї поверхні балки згідно з EN 1991-1-2:2024 (додаток G).

В.7.2 Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я

(1) Коефіцієнт теплового випромінювання полум'я $\varepsilon_{z,i}$ для кожної з 1-ї, 2-ї, 3-ї та 4-ї поверхонь балки потрібно визначати з виразу для розрахунку ε , поданого в EN 1991-1-2:2024 (додаток В), приймаючи найбільшу ширину полум'я d_f такою, що дорівнює розміру $d_{f,i}$, показаному на рисунку В.7, який стосується i -ї поверхні балки.

В.7.3 Коефіцієнт поглинання полум'я

(1) Коефіцієнт поглинання полум'я a_z потрібно визначати з такого рівняння:

$$a_z = 1 - e^{-0,3h_{eq}} \quad (B.51)$$

де

h_{eq} еквівалентна висота прорізу. Див. рисунок В.7 b) (висоту — позначено як $d_{f,1}$).

ДОДАТОК С
(обов'язковий)
НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ

С.1 Призначення додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові положення для нержавіючих сталей.

С.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності

(1) Цей обов'язковий додаток застосовний до проектування сталевих конструкцій, виготовлених з нержавіючих аустенітних, дуплексних (аустенітно-феритних) і феритних нержавіючих сталей для надзвичайної ситуації, пов'язаної з вогневим впливом.

Примітка. Аустенітно-феритні нержавіючі сталі загальновідомі як дуплексні нержавіючі сталі. У цьому стандарті вживається термін «дуплексна сталь».

С.3 Теплові властивості

С.3.1 Коефіцієнт теплового випромінювання

(1) Коефіцієнт теплового випромінювання поверхні нержавіючої сталі ε_m потрібно приймати таким, що дорівнює 0,4.

С.3.2 Коефіцієнт теплопровідності

(1) Коефіцієнт теплопровідності λ_a можна визначати таким чином:
Для аустенітних та дуплексних нержавіючих сталей:

$$\lambda_a = 14,6 + 1,27 \times 10^{-2} \theta_a \text{ Вт/(м·К)} \quad (\text{С.1})$$

Для феритних нержавіючих сталей:

$$\lambda_a = 20,4 + 2,28 \times 10^{-2} \theta_a - 1,54 \times 10^{-5} \theta_a^2 \quad (\text{C.2})$$

Де

θ_a температура сталі [$^{\circ}\text{C}$].

С.3.3 Питома теплоємність

(1) Питому теплоємність c_a можна визначити таким чином:

Для аустенітних та дуплексних нержавіючих сталей:

$$c_a = 450 + 0,28 \times \theta_a - 2,91 \times 10^{-4} \theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7} \theta_a^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \quad (\text{C.3})$$

Для феритних нержавіючих сталей:

$$c_a = 430 + 0,26 \times \theta_a \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}) \quad (\text{C.4})$$

де

θ_a температура сталі [$^{\circ}\text{C}$].

С.4 Механічні властивості нержавіючої сталі

С.4.1 Загальні положення

(1) Механічні властивості нержавіючих сталей за температури 20°C потрібно приймати такими, як вказано в EN 1993-1-4 для розрахунку за звичайної температури.

С.4.2 Залежність між напруженням і подовженням

(1) Залежність між напруженням і подовженням нержавіючої сталі за підвищених температур потрібно описувати, користуючись такими виразами:

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{\sigma_{\theta}}{E_{a,\theta}} + 0,002 \left[\frac{\sigma_{\theta}}{f_{p0,2,\theta}} \right]^{n_{\theta}} \text{ для } \sigma_{\theta} \leq f_{p0,2,\theta} \quad (\text{C.5})$$

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{\sigma_{\theta} - f_{p0,2,\theta}}{E_{p0,2,\theta}} + \left(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{p0,2,\theta} - \frac{f_{u,\theta} - f_{p0,2,\theta}}{E_{p0,2,\theta}} \right) \left(\frac{\sigma_{\theta} - f_{p0,2,\theta}}{f_{u,\theta} - f_{p0,2,\theta}} \right)^{m_{\theta}} + \varepsilon_{p0,2,\theta}$$

для $f_{p0,2,\theta} < \sigma_{\theta} \leq f_{p0,2,\theta}$ (C.6)

де

- σ_{θ} напруження за температури θ_a ;
- ε_{θ} подовження за температури θ_a ;
- $E_{a,\theta}$ кут ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності за температури θ_a ;
- $f_{p0,2,\theta}$ умовна межа міцності у разі подовження на 0,2 % за температури θ_a ;
- $\varepsilon_{p0,2,\theta}$ загальне подовження, що відповідає $f_{p0,2,\theta}$;
- $E_{p0,2,\theta}$ осьовий модуль пружності $f_{p0,2,\theta}$, що визначається як:

$$E_{p0,2,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{1 + 0,002n_{\theta} \frac{E_{a,\theta}}{f_{p0,2,\theta}}} \quad (C.7)$$

$\varepsilon_{u,\theta}$ — подовження за межі міцності $f_{u,\theta}$ ($0,02 \leq \varepsilon_{u,\theta} \leq \varepsilon_u$)

$$\varepsilon_{u,\theta} = 1 - \frac{f_{2,\theta}}{f_{u,\theta}} \quad \text{для аустенітних і дуплексних нержавіючих сталей} \quad (C.8)$$

$$\varepsilon_{u,\theta} = 0,6 \left[1 - \frac{f_{2,\theta}}{f_{u,\theta}} \right] \quad \text{для феритних нержавіючих сталей} \quad (C.9)$$

Де

$f_{2,\theta}$ — міцність за сумарного подовження 2 % за температури θ_a ;

n_θ та m_θ показники ступенів, які визначають ступінь нелінійності змінювання властивості матеріалу за температури θ_a ;

$$m_\theta = \frac{\ln\left(\frac{0,02 - \varepsilon_{p0,2,\theta} - \left[\frac{f_{2,\theta} - f_{p0,2,\theta}}{E_{p0,2,\theta}}\right]}{\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{p0,2,\theta} - \left[\frac{f_{u,\theta} - f_{p0,2,\theta}}{E_{p0,2,\theta}}\right]}\right)}{\ln\left(\frac{f_{2,\theta} - f_{p0,2,\theta}}{f_{u,\theta} - f_{p0,2,\theta}}\right)} \quad \begin{array}{l} \text{але } 1,5 \leq m_\theta \leq 5 \text{ для всіх} \\ \text{марок нержавіючих} \\ \text{сталей} \end{array} \quad (\text{C.10})$$

Значення n_θ можна приймати такими, як значення n за звичайної температури:

$n = 7$ для аустенітних нержавіючих сталей;

$n = 8$ для дуплексних нержавіючих сталей;

$n = 14$ для феритних нержавіючих сталей;

(2) Залежністю між напруженням і подовженням в (1) потрібно користуватися для визначення опору розтягу, стисканню, моменту сили або зсуву.

(3) Для швидкостей нагрівання від 2 до 50 K/хв, коефіцієнти послаблення міцності і жорсткості за підвищених температур, подані в таблиці С.1, потрібно використовувати у формулах (С.5), (С.6) для відповідної групи нержавіючих сталей. Коефіцієнти визначають таким чином:

$k_{p0,2,\theta}$ — це коефіцієнт послаблення для умовної межі міцності у разі подовження на 0,2 % за температури θ_a , тобто:

$$k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_y \quad (\text{C.11})$$

$k_{2,\theta}$ — це коефіцієнт послаблення для міцності за повного подовження 2 % за температури θ_a , тобто:

$$k_{2,\theta} = f_{2,\theta}/f_y \text{ але } f_{p0,2,\theta} < f_{2,\theta} < f_{u,\theta} \quad (\text{C.12})$$

$k_{u,\theta}$ — це коефіцієнт послаблення для межі міцності за температури θ_a , тобто:

$$k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u \quad (\text{C.13})$$

$k_{E,\theta}$ — це коефіцієнт послаблення для кута ухилу ділянки графіка в діапазоні лінійної пружності за температури θ_a , тобто:

$$k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a \quad (\text{C.14})$$

де

E_a модуль пружності за звичайної температури
($= 200 \times 10^3 \text{ Н/мм}^2$);

f_y межа текучості (умовна межа міцності за подовження на 0,2 %) за звичайної температури;

f_u межа міцності за звичайної температури.

(4) Для аустенітних, дуплексних або феритних нержавіючих сталей, не вказаних в таблиці С.1, коефіцієнти послаблення, вказані для аустенітної І, дуплексної І або феритної І сталей, відповідно, можна приймати у разі застосування консервативного підходу.

(5) Для нержавіючої сталі холодного обробляння або у випадках, коли користуються підвищеною міцністю, що виникає внаслідок

холодного формування під час виготовлення профілю, потрібно користуватися такими коефіцієнтами послаблення міцності і жорсткості для швидкостей нагрівання від 2 до 50 K/хв:

$$k_{p0,2,\theta,CF} = k_{p0,2,\theta} \quad 200 \leq \theta \leq 700^{\circ}\text{C} \quad k_{p0,2,\theta,CF} = 0,8k_{p0,2,\theta} \quad \theta \geq 800^{\circ}\text{C}$$

$$k_{2,\theta,CF} = k_{2,\theta} \quad 200 \leq \theta \leq 700^{\circ}\text{C} \quad k_{2,\theta,CF} = 0,9k_{2,\theta} \quad \theta \geq 800^{\circ}\text{C}$$

$$k_{u,\theta,CF} = k_{u,\theta} \quad \text{для всіх температур}$$

$$k_{E,\theta,CF} = k_{E,\theta} \quad \text{для всіх температур}$$

де нижній індекс *CF* стосується нержавіючої сталі у стані холодного оброблення/холоднокатаної нержавіючої сталі.

Таблиця С.1 — Коефіцієнти послаблення для міцності і жорсткості за підвищених температур

Температура θ (°C)	Коефіцієнт послаблення $k_{p0,2,\theta}$	Коефіцієнт послаблення $k_{2,\theta}$	Коефіцієнт послаблення $k_{u,\theta}$	Коефіцієнт послаблення $k_{E,\theta}$
Аустенітна І 1.4301, 1.4307, 1.4318, 1.4420				
20	1,00	1,31	1,00	1,00
100	0,78	1,02	0,81	0,96
200	0,65	0,88	0,72	0,92
300	0,60	0,82	0,68	0,88
400	0,55	0,78	0,66	0,84
500	0,50	0,73	0,61	0,80
600	0,46	0,68	0,54	0,76
700	0,38	0,54	0,40	0,71
800	0,25	0,35	0,25	0,63
900	0,15	0,18	0,13	0,45
1000	0,07	0,08	0,08	0,20
1100	0,05	0,06	0,05	0,10

Продовження таблиці С.1

Аустенітна II 1.4401, 1.4404, 1.4541				
20	1,00	1,19	1,00	1,00
100	0,86	1,13	0,87	0,96
200	0,72	0,98	0,80	0,92
300	0,67	0,92	0,78	0,88
400	0,62	0,85	0,77	0,84
500	0,60	0,82	0,74	0,80
600	0,56	0,75	0,67	0,76
700	0,50	0,68	0,51	0,71
800	0,41	0,50	0,34	0,63
900	0,22	0,26	0,19	0,45
1000	0,14	—	0,10	0,20
1100	0,07	—	0,07	0,10
Аустенітна III				
20	1,00	1,31	1,00	1,00
100	0,89	1,16	0,88	0,96
200	0,82	1,07	0,81	0,92
300	0,77	1,01	0,79	0,88
400	0,72	0,95	0,79	0,84
500	0,69	0,91	0,77	0,80
600	0,65	0,85	0,71	0,76
700	0,59	0,76	0,57	0,71
800	0,51	0,63	0,38	0,63
900	0,29	0,38	0,23	0,45
1000	0,15	0,18	0,10	0,20
Дуплексна I 1.4362, 1.4062, 1.4482				
20	1,00	1,15	1,00	1,00
100	0,83	0,94	0,94	0,96
200	0,75	0,82	0,87	0,92

Продовження таблиці С.1

300	0,69	0,77	0,79	0,88
400	0,58	0,70	0,70	0,84
500	0,43	0,59	0,59	0,80
600	0,27	0,45	0,47	0,76
700	0,14	0,28	0,33	0,71
800	0,07	0,14	0,20	0,63
900	0,04	0,05	0,09	0,45
Дуплексна II 1.4462, 1.4162, 1.4662				
20	1,00	1,12	1,00	1,00
100	0,82	0,96	0,96	0,96
200	0,70	0,86	0,91	0,92
300	0,65	0,82	0,88	0,88
400	0,60	0,76	0,82	0,84
500	0,53	0,67	0,71	0,80
600	0,42	0,55	0,56	0,76
700	0,27	0,37	0,38	0,71
800	0,15	0,21	0,22	0,63
900	0,07	0,11	0,14	0,45
1000	0,01	0,03	0,06	0,20
Феритна I 1.4509, 1.4521, 1.4621				
20	1,00	1,12	1,00	1,00
100	0,88	1,01	0,93	0,98
200	0,83	0,99	0,91	0,95
300	0,78	0,92	0,88	0,92
400	0,73	0,90	0,82	0,86
500	0,66	0,86	0,78	0,81
600	0,53	0,71	0,64	0,75
700	0,39	0,48	0,41	0,54
800	0,10	0,13	0,11	0,33

Кінець таблиці С.1

900	0,04	0,04	0,03	0,21
1000	0,02	0,02	0,01	0,09
Феритна II				
1.4003, 1.4016				
20	1,00	1,19	1,00	1,00
100	0,93	1,12	0,93	0,98
200	0,91	1,09	0,89	0,95
300	0,89	1,07	0,87	0,92
400	0,87	1,05	0,84	0,86
500	0,75	1,01	0,82	0,81
600	0,43	0,48	0,33	0,75
700	0,16	0,18	0,13	0,54
800	0,10	0,12	0,09	0,33
900	0,06	0,09	0,07	0,21
1000	0,04	0,06	0,05	0,09

С.4.3 Теплове розширення

(1) Відносне теплове розширення нержавіючих сталей $\Delta l/l$ за температур від 20 °С до 1 000 °С потрібно визначати за такими формулами:

$$\text{Аустенітна:} \quad \frac{\Delta l}{l} = \frac{(16,54 + 3,58 \times 10^{-3} \theta_a) \times (\theta_a - 20)}{10^6} \quad (\text{С.15})$$

$$\text{Дуплексна:} \quad \frac{\Delta l}{l} = \frac{(12,98 + 4,14 \times 10^{-3} \theta_a) \times (\theta_a - 20)}{10^6} \quad (\text{С.16})$$

$$\text{Феритна:} \quad \frac{\Delta l}{l} = \frac{(9,97 + 3,89 \times 10^{-3} \theta_a) \times (\theta_a - 20)}{10^6} \quad (\text{С.17})$$

де

l довжина за температури 20 °C;

Δl розширення, спричинене тепловим впливом;

θ_a температура сталі (°C).

С.4.4 Густина

(1) Густину нержавіючої сталі ρ_a можна вважати такою, що не залежить від її температури. Можна приймати таке значення: $\rho_a = 7\,850\text{ кг/м}^3$.

Примітка. Більш точні значення для кожної марки подано в EN 10088-1.

С.5 Спрощені моделі розрахунку

С.5.1 Загальні положення

(1) Якщо не вказано інше, то на додаток до нижчезазначених випадків застосовні правила для сталі, подані в розділі 7. Характеристичну міцність нержавіючої сталі потрібно приймати такою, яка дорівнює її міцності за загального подовження на 2 % для поперечних перерізів усіх класів.

С.5.2 Класифікація поперечних перерізів

С.5.2.1 Класифікація конструкцій, які працюють на стискання

(1) Поперечні перерізи конструкцій, які працюють на стискання, класифікують як негнучкі (тобто цілком ефективні) або гнучкі згідно з С.5.2.2 (1) залежно від їхньої відносної гнучкості за підвищеної температури $\bar{\lambda}_{p,\theta}$, яку визначають таким чином:

$$\bar{\lambda}_{p,\theta} = \xi_{\theta} \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{xr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon_{fi} \sqrt{k_{\sigma}}} \quad (C.18)$$

в якій

$\xi_{\theta} = \sqrt{k_{2,\theta}/k_{E,\theta}}$ коефіцієнт підвищеної температури;

t відповідна товщина;

k_{σ} коефіцієнт згину, що відповідає співвідношенню напружень ψ і граничним умовам згідно з EN 1993-1-5:2024 (таблиця 4.1 або, де це застосовне, таблиця 4.2);

$\bar{b}$ відповідна ширина.

$$\varepsilon_{fi} = \left[\frac{265}{f_y} \right]^{0,5} / \xi_{\theta} \quad (C.19)$$

(2) Як альтернатива, можна використовувати такі сталі значення ξ_{θ} :

$\xi_{\theta} = 1,00$ для аустенітної I, II, дуплексної I, II, феритної I сталі;

$\xi_{\theta} = 1,10$ для аустенітної III та феритної II сталі.

(3) Конструкції, які працюють на стискання, з $\bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta}$ класифікують як негнучкі. Конструкції, які не задовольняють критеріям щодо негнучких конструкцій (тобто конструкції з $\bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta}$) класифікують як гнучкі; $\bar{\lambda}_{p0,\theta}$ визначають згідно з С.5.2.2 (1).

(4) Клас поперечного перерізу вважають гнучким, якщо будь-яка з конструкцій, що працюють на стискання, у його складі класифікується як гнучка. Поперечний переріз класифікують як негнучкий тільки в тому

разі, якщо всі будівельні конструкції в його складі, що працюють на стискання, класифікуються як негнучкі.

(5) Властивості профілів, подані в таблиці С.2, потрібно використовувати у визначенні величин розрахункового опору відповідно до класу поперечного перерізу. A_{eff} та W_{eff} — це ефективна площа та ефективний момент опору перерізу, визначені з використанням значень ефективної ширини згідно з описом, поданим у С.5.2.2 для гнучких поперечних перерізів.

Таблиця С.2 — Властивості поперечних перерізів для визначення розрахункового опору

Клас	Жорсткі	Гнучкі
Площа поперечного перерізу A_i	A	A_{eff}
Момент опору поперечного перерізу W_y	$W_{pl,y}$	$W_{eff,y}$
Момент опору поперечного перерізу W_z	$W_{pl,z}$	$W_{eff,z}$

С.5.2.2 Ефективна ширина гнучких поперечних перерізів

(1) Для гнучких поперечних перерізів можна використовувати значення ефективної ширини для визначення необхідних допусків на зниження опору через впливи локального згину, користуючись EN 1993-1-5:2024 (4.4 (1) — (5)), за винятком того, що коефіцієнти послаблення потрібно приймати такими:

Внутрішні конструкції, які працюють на стискання:

Аустенітна сталь

$$\rho = 1,0 \qquad \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta}$$
$$\rho = \frac{0,54}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,75}} - \frac{0,015(3+\psi)}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,5}} \qquad \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta} \qquad (C.20)$$

в якій

$$\bar{\lambda}_{p,\theta} = (0,27 + \sqrt{0,0279 - 0,015\psi})^{1,33} \quad (\text{C.21})$$

Дуплексна і феритна сталь

$$\begin{aligned} \rho = 1,0 & \quad \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta} \\ \rho = \frac{0,6}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,75}} - \frac{0,015(3+\psi)}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,5}} & \quad \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta} \end{aligned} \quad (\text{C.22})$$

в якій

$$\bar{\lambda}_{p,\theta} = (0,27 + \sqrt{0,0279 - 0,015\psi})^{1,33} \quad (\text{C.23})$$

Зовнішні конструкції, які працюють на стискання:

Аустенітна сталь

$$\begin{aligned} \rho = 1,0 & \quad \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta} \\ \rho = \frac{0,6}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,6}} - \frac{0,075}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,2}} & \quad \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta} \end{aligned} \quad (\text{C.24})$$

$$\text{в якій } \bar{\lambda}_{p,\theta} = 0,237\sqrt{\xi_\theta} \quad (\text{C.25})$$

Дуплексна і феритна сталь

$$\begin{aligned} \rho = 1,0 & \quad \bar{\lambda}_{p,\theta} \leq \bar{\lambda}_{p0,\theta} \\ = \frac{0,67}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{0,6}} - \frac{0,075}{(\bar{\lambda}_{p,\theta}/\sqrt{\xi_\theta})^{1,2}} & \quad \bar{\lambda}_{p,\theta} > \bar{\lambda}_{p0,\theta} \end{aligned} \quad (\text{C.26})$$

$$\text{в якій } \bar{\lambda}_{p,\theta} = 0,344\sqrt{\xi_\theta} \quad (\text{C.27})$$

С.5.3 Опір

С.5.3.1 Конструкції, які працюють на розтяг

(1) Значення розрахункового опору $N_{Rd,fi,\theta}$ або $N_{Rd,fi,t}$ конструкції, яка працює на розтяг, потрібно визначати, користуючись формулами (7.5) або (7.6), відповідно, замінюючи $k_{y,\theta}$ на $k_{2,\theta}$. Також має виконуватися така умова:

$$N_{Rd,fi,\theta} \leq N_{t,Rd} \text{ або } N_{Rd,fi,t} \leq N_{t,Rd} \quad (C.28)$$

С.5.3.2 Конструкції, які працюють на стискання

(1) Розрахунковий опір згину $N_{b,Rd,fi,t}$ в момент часу t конструкції, яка працює на стискання, з рівномірним розподілом температури визначають таким чином:

$$N_{b,Rd,fi,t} = \frac{\chi_{fi} A k_{2,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}} \leq N_{t,Rd} \text{ для негнучких профілів} \quad (C.29)$$

$$N_{b,Rd,fi,t} = \frac{\chi_{fi} A_{eff} k_{2,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}} \leq N_{t,Rd} \text{ для гнучких профілів} \quad (C.30)$$

де

$k_{2,\theta}$ коефіцієнт послаблення для міцності за загального розтягу величиною 2 % за температури θ_a , вказаний в таблиці С.1;

χ_{fi} коефіцієнт послаблення для згину колони під час пожежі, який визначають згідно з С.5.3.2 (2);

A_{eff} ефективна площа, яку розраховують згідно з виразами, поданими в С.5.2.2.

(2) За значення χ_{fi} потрібно приймати меншу з величин $\chi_{y,fi}$ та $\chi_{z,fi}$ в частині згинального, крутильного та крутильно-згинального

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

згинання конструкції, яка працює на стискання. Значення χ_{fi} потрібно визначати за формулою

$$N_{b,Rd,fi,t} = \frac{\chi_{fi} A_{eff} k_{2,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}} \leq N_{t,Rd} \text{ для гнучких профілів} \quad (C.31)$$

де

$$\phi_{\theta} = 0,5[1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \beta \bar{\lambda}_{\theta}] \quad (C.32)$$

в якій

β визначено в таблиці С.3

α — коефіцієнт неоднорідності підвищеної температури, який визначають таким чином:

$$\alpha = \alpha_0 / \xi_{\theta} \quad (C.33)$$

де

α_0 визначено в таблиці С.3;

ξ_{θ} коефіцієнт підвищеної температури, вказаний в С.5.2.1 (1).

Таблиця С.3 — Значення α_0 та β для згинального, крутильного та крутильно-згинального згину

Тип конструкції	Вісь згинання	Аустенітна сталь		Дуплексна сталь		Феритна сталь	
		α_0	β	α_0	β	α_0	β
Порожністі профілі гарячого оброблення та холодного формування	Будь-яка	0,80	0,75	0,60	0,80	0,40	1,00
Зварні або гарячекатані порожністі профілі	Основна	0,90	1,00	0,55	1,00	0,55	1,00
	Додаткова	0,90	1,50	0,55	1,50	0,55	1,50
Інші типи профілів	Будь-яка	1,00	1,50	1,00	1,50	1,00	1,50

Змінену відносну гнучкість $\bar{\lambda}_\theta$ за температури θ_a потрібно приймати розрахованою за такою формулою:

$$\bar{\lambda}_\theta = \xi_\theta \bar{\lambda} \text{ для всіх класів поперечного перерізу} \quad (\text{С.34})$$

в якій відносна гнучкість $\bar{\lambda}$ визначається виразом

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \text{ для негнучких перерізів} \quad (\text{С.35})$$

де

N_{cr} — критичне пружне зусилля для відповідного режиму згинання, визначене залежно від властивостей поперечного перерізу бруто з використанням довжини ділянки згину під час пожежі.

(3) У випадках, коли температура конструкції неоднорідна, опір стисканню можна оцінити, застосовуючи консервативний підхід,

вважаючи температуру рівномірно розподіленою і такою, яка дорівнює максимальній температурі в конструкції.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \text{ для гнучких перерізів} \quad (\text{C.36})$$

де

N_{cr} — критичне пружне зусилля для відповідного режиму згинання, визначене залежно від властивостей поперечного перерізу бруто з використанням довжини ділянки згину під час пожежі.

(3) У випадках, коли температура конструкції неоднорідна, опір стисканню можна оцінити, застосовуючи консервативний підхід, вважаючи температуру рівномірно розподіленою і такою, яка дорівнює максимальній температурі в конструкції.

С.5.3.3 Балки

(1) Розрахункові моменти опору $N_{Rd,fi,\theta}$ або $N_{Rd,fi,t}$ негнучкого поперечного перерізу потрібно визначати, користуючись формулами (7.15) або (7.16), відповідно, в яких $k_{y,\theta}$ замінено на $k_{2,\theta}$. Також має виконуватися така умова:

$$N_{Rd,fi,\theta} \leq N_{c,Rd} \text{ або } N_{Rd,fi,t} \leq N_{c,Rd} \quad (\text{C.37})$$

(2) Як альтернатива, розрахунковий момент опору в момент часу t негнучкого поперечного перерізу конструкції з нерівномірним розподілом температури можна визначати згідно з 7.4.3 (3), але користуючись $M_{Rd,fi,t}$, визначеним згідно з С.5.3.3 (1).

(3) Розрахункові моменти опору $M_{Rd,fi,\theta}$ гнучкого поперечного перерізу потрібно визначати, користуючись формулою (7.30), в якій

$k_{y,\theta}$ замінено на $k_{2,\theta}$, а W_{eff} визначено з використанням коефіцієнта послаблення для згинання плити, визначеного в С.5.2.2. Також має виконуватися така умова:

$$M_{Rd,fi,\theta} \leq M_{c,Rd} \quad (C.38)$$

(4) Розрахунковий момент опору поперечно-крутильному згинанню $M_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечно незв'язаної конструкції потрібно визначати таким чином:

$$M_{b,Rd,fi,t} = \frac{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{2,\theta,com} f_y}{\gamma_{M,fi}} \leq M_{c,Rd} \text{ для негнучких перерізів} \quad (C.39)$$

$$M_{b,Rd,fi,t} = \frac{\chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{2,\theta,com} f_y}{\gamma_{M,fi}} \leq M_{c,Rd} \text{ для гнучких перерізів} \quad (C.40)$$

де

$\chi_{LT,fi}$ — коефіцієнт послаблення для поперечно-крутильного згинання під час пожежі, визначений згідно з С.5.3.3 (5);

$k_{2,\theta,com}$ — коефіцієнт послаблення міцності за загального подовження 2 % за максимальної температури полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$, вказаний в таблиці С.1.

(5) Значення $\chi_{LT,fi}$ потрібно визначати за такими рівняннями:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} \quad (C.41)$$

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right] \quad (C.42)$$

α_{LT} коефіцієнт нерівномірності розподілу підвищеної температури для поперечно-крутильного згинання, який визначають таким чином:

$$\alpha_{LT} = \alpha_{LT,0} / \xi_{\theta,com} \quad (C.43)$$

де

$\alpha_{LT,0}$ величина, вказана в таблиці С.4;

$\xi_{\theta,com}$ — коефіцієнт, що залежить від температури, поданий в С.5.2.1 (1) для максимальної температури сталі в полиці, яка працює на стискання, $\theta_{a,com}$, що досягається в момент часу t .

Таблиця С.4 — Значення $\alpha_{LT,0}$ для поперечно-крутильного згинання

Тип конструкції	Аустенітна сталь	Дуплексна сталь	Феритна сталь
	$\alpha_{LT,0}$	$\alpha_{LT,0}$	$\alpha_{LT,0}$
Зварні або гарячекатані відкриті профілі	0,64	0,45	0,40
Порожнисті профілі гарячого оброблення та холодного формування	0,34	0,34	0,34
Інші типи профілів	0,76	0,76	0,76

Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_{LT,\theta}$ за температури сталі θ_a визначається таким чином:

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \xi_{\theta,com} / \bar{\lambda}_{LT} \text{ для всіх класів поперечних перерізів} \quad (C.44)$$

Відносна гнучкість $\bar{\lambda}_{LT}$ визначається таким чином:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} \text{ для негнучких профілів} \quad (C.45)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} \text{ для гнучких профілів} \quad (C.45)$$

де

M_{cr} критичний пружний момент зусилля для поперечно-крутильного згинання, що залежить від властивостей поперечного перерізу брутто, з урахуванням умов прикладання навантаження, фактичного розподілу моменту зусилля та обмежувачів бокового зміщення.

(6) Ефект розподілу моменту зусилля між обмежувачами бокового зміщення конструкції можна враховувати, змінюючи коефіцієнт послаблення $\chi_{LT,fi}$ таким чином:

$$\chi_{LT,fi,mod} = \frac{\chi_{LT,fi}}{h} \text{ але } \begin{cases} \chi_{LT,fi,mod} \leq 1,0 \\ \chi_{LT,fi,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2} \end{cases} \quad (C.47)$$

Для визначення f потрібно користуватися такими виразами:

$$\text{Аустенітна сталь:} \quad f = 1 - 0,83(1 - k_c) \geq 0,67 \quad (C.48)$$

$$\text{Дуплексна сталь:} \quad f = 1 - 0,67(1 - k_c) \geq 0,73 \quad (C.49)$$

$$\text{Феритна сталь:} \quad f = 1 - 0,60(1 - k_c) \geq 0,76 \quad (C.50)$$

де

k_c — коефіцієнт поправки, визначений згідно з EN 1993-1-1:2022 (таблиця 8.6).

(7) Розрахунковий опір зрізу $V_{Rd,fi,t}$ в момент часу t поперечного перерізу потрібно визначати, користуючись формулою (7.25), замінюючи $k_{i,\theta,web}$ на $k_{2,\theta,web}$ для всіх класів поперечних перерізів.

С.5.3.4 Конструкції, які зазнають комбінованого впливу згинання та осьового стискання

(1) Розрахункові моменти опору згинанню в момент часу t конструкції, яка зазнає комбінації згинання та осьового стискання, потрібно перевіряти, забезпечуючи виконання виразів у формулах (С.51), (С.52) для конструкції з негнучким поперечним перерізом або у формулах (С.53), (С.54) для конструкції з гнучким поперечним перерізом

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{y,fi} A k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed,fi}}{W_{pl,y} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{pl,y} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (C.51)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} A k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed,fi}}{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed,fi}}{W_{pl,z} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (C.52)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{y,fi} A_{eff} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed,fi} + \Delta M_{y,Ed,fi}}{W_{eff,y} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed,fi} + \Delta M_{z,Ed,fi}}{W_{eff,z} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (C.53)$$

$$\frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} A_{eff} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed,fi} + \Delta M_{y,Ed,fi}}{\chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed,fi} + \Delta M_{z,Ed,fi}}{W_{eff,z} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (C.54)$$

де

$\chi_{y,fi}, \chi_{z,fi}$ коефіцієнти послаблення, спричинені згинальним, крутильним або крутильно-згинальним згинанням, згідно з С.5.3.2;

$\chi_{LT,fi}$ коефіцієнт послаблення, спричинений поперечно-крутильним згинанням, згідно з С.5.3.3;

$\Delta M_{y,Ed,fi}, \Delta M_{z,Ed,fi}$ моменти зусилля, спричинені зміщенням осі центра мас згідно з С.5.2.2 для гнучких перерізів;

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ коефіцієнти взаємодії (див. (3)).

(2) Коефіцієнт послаблення для згинання відносно осі z-z потрібно приймати таким, який дорівнює найменшому із значень, визначених під час розглядання режимів згинального згинання відносно осі z-z, а також крутильного та крутильно-згинального згинання.

(3) Коефіцієнти взаємодії $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$, які потрібно використовувати під час розрахунку конструкцій з подвійно-симетричними поперечними перерізами у формулах (C.51), (C.52), (C.53), (C.54), можна визначати за таблицями С.5, С.6, С.7, користуючись такими параметрами:

$$n_y = \frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{y,fi} A k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad \text{і} \quad n_z = \frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} A k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad \text{для негнучких профілів}$$

$$n_y = \frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{y,fi} A_{eff} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad \text{і} \quad n_z = \frac{N_{Ed,fi}}{\chi_{z,fi} A_{eff} k_{2,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad \text{для гнучких профілів}$$

Примітка. Коефіцієнти, подані в таблиці С.6, відрізняються для конструкцій, які чутливі до поперечно-крутного згинання ($\chi_{y,fi,mod} < 1$) та які не чутливі до нього ($\chi_{y,fi,mod} = 1$).

Таблиця С.5 — Коефіцієнти взаємодії для формул (С.51) і (С.53). Нестабільність зумовлено згинанням відносно осі у-у

Для $\bar{\lambda}_{y,\theta} < D_{3,y}$	$k_{yy} = C_{my} [1 + D_{1,y} (\bar{\lambda}_{y,\theta} - D_{2,y}) n_y]$
Для $\bar{\lambda}_{y,\theta} \geq D_{3,y}$	$k_{yy} = C_{my} [1 + D_{1,y} (\bar{\lambda}_{3,y} - D_{2,y}) n_y]$
$k_{yy} = k_{zz}$ (інформацію щодо k_{zz} подано в таблиці С.6)	

Таблиця С.6 — Коефіцієнти взаємодії для формул (С.52) і (С.54). Нестабільність зумовлено згинанням відносно осі z-z

Тип профілю		Коефіцієнт взаємодії	
k_{zy}	Нечутливі до поперечно-крутного згинання	$k_{zy} = 0,8 k_{yy}$ (інформацію щодо k_{yy} подано в таблиці С.5)	
	Чутливі до поперечно-крутного згинання	Для $\bar{\lambda}_{z,\theta} < D_{3,LT}$	$k_{zy} = 1 - \frac{D_{1,LT} \bar{\lambda}_{z,\theta} n_z}{C_{mLT} - D_{2,LT}}$
		Для $\bar{\lambda}_{z,\theta} \geq D_{3,LT}$	$k_{zy} = 1 - \frac{D_{1,LT} D_{3,LT} n_z}{C_{mLT} - D_{2,LT}}$
k_{zz}	Усі профілі	Для $\bar{\lambda}_{z,\theta} < D_{3,z}$	$k_{zz} = C_{mz} [1 + D_{1,z} (\bar{\lambda}_{z,\theta} - D_{2,z}) n_z]$
		Для $\bar{\lambda}_{z,\theta} \geq D_{3,z}$	$k_{zz} = C_{mz} [1 + D_{1,z} (D_{3,z} - D_{2,z}) n_z]$

Таблиця С.7 — Значення допоміжних коефіцієнтів D_y , D_z і D_{LT}

Тип профілю	Коефіцієнт	Аустенітна сталь	Дуплексна і феритна сталь
Усі профілі	$D_{1,y}$	2,5	2,0
	$D_{2,y}$	0,2	0,3
	$D_{3,y}$	1,4	1,6
	$D_{1,z}$	3,0	2,5
	$D_{2,z}$	0,2	0,4
	$D_{3,z}$	1,4	1,8
Чутливі до поперечно-крутильного згинання	$D_{1,LT}$	0,10	
	$D_{2,LT}$	0,27	
	$D_{3,LT}$	1,00	

Примітка. Значення коефіцієнтів еквівалентного градієнту моменту зусилля C_{my} , C_{mz} і C_{mLR} подано в таблиці 8.9 EN 1993-1-1:2022.

(обов'язковий)

З'ЄДНАННЯ

D.1 Призначення додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові до 7.1 (8) положення щодо розрахунку температур та величин механічного опору компонентів з'єднань.

D.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності

(1) Цей обов'язковий додаток застосовний до болтових та зварних з'єднань у відкритих профілях, а також плоских зварних з'єднань труб.

(2) Цей обов'язковий додаток незастосовний до нержавіючої сталі.

D.3 Болтові з'єднання

D.3.1 Загальні положення

(1) Досягнення граничного стану поперечного перерізу нетто в отворах для кріплення розглядати не потрібно за умови наявності кріпильного пристрою в кожному отворі.

Примітка. Температура сталі в з'єднаннях нижча завдяки наявності додаткового матеріалу.

D.3.2 Розрахунковий опір болтів, що зазнають зсуву

D.3.2.1 Категорія А: Несучі

(1) Розрахунковий опір кожного з болтів, до яких прикладене зусилля зсуву, потрібно визначати за формулою

$$F_{v,Rd,fi,t} = F_{v,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{fi}} \text{ але } F_{v,Rd,fi,t} < F_{v,Rd} \quad (D.1)$$

де

$k_{b,\theta}$ коефіцієнт послаблення, визначений для відповідної температури болта з таблиці D.1;

$F_{v,Rd}$ розрахунковий опір зсуву кожного з болтів у площині зсуву, розрахований з припущення, що площина зсуву проходить через різьбу болта (EN 1993-1-8:2024, таблиця 5.7);

γ_{M2} парціальний коефіцієнт за звичайної температури;

γ_{fi} парціальний коефіцієнт під час пожежі.

(2) Розрахункову несучу здатність кожного з болтів під час пожежі потрібно визначати, користуючись формулою

$$F_{b,Rd,fi,t} = F_{b,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{fi}} \text{ але } F_{b,Rd,fi,t} < F_{b,Rd} \quad (D.2)$$

де

$F_{b,Rd}$ — розрахункова несуча здатність кожного з болтів, визначена з таблиці 5.7 EN 1993-1-8:2024;

$k_{b,\theta}$ — коефіцієнт послаблення, визначений для відповідної температури болта з таблиці D.1.

D.3.2.2 Категорія В: з опором ковзанню за придатності до експлуатації та категорія С: з опором ковзанню за граничного стану

(1) З'єднання, стійкі до ковзання, потрібно вважати такими, які зазнали ковзання під час пожежі, а опір кожного з болтів потрібно визначати як для несучих болтів (див. D.3.2.1).

D.3.3 Розрахункова міцність болтів, які зазнають розтягу

Категорії D та E: Болти без попереднього натягу і з попереднім натягом.

(1) Розрахунковий опір розтягу окремого болта під час пожежі потрібно визначати за формулою

$$F_{\text{ten,Rd,fi,t}} = F_{\text{t,Rd}} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{fi}} \text{ але } F_{\text{ten,Rd,fi,t}} < F_{\text{t,Rd}} \quad (\text{D.3})$$

де

$F_{\text{t,Rd}}$ розрахунковий опір розтягу кожного з болтів, визначений за таблицею 3.4 EN 1993-1-8:2024;

$k_{b,\theta}$ коефіцієнт послаблення, визначений для відповідної температури болта за таблицею D.1.

Таблиця D.1 — Коефіцієнти зниження міцності для болтів і зварних швів

Температура θ_a	Коефіцієнт послаблення для болтів $k_{b,\theta}$ (розтяг і зсув)	Коефіцієнт послаблення 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

D.4 Розрахунковий опір зварних швів

D.4.1 Стикові зварні шви

(1) Розрахунковий опір стикового зварного шва з проплавленням на повну глибину за температур до 700 °C потрібно приймати таким, що дорівнює опору найслабшої із з'єднаних частин, і використовуючи коефіцієнти послаблення для конструкційної сталі.

Для температур > 700 °C, коефіцієнти послаблення, вказані для кутових зварних швів, можна застосовувати також до стикових швів.

D.4.2 Кутові зварні шви

(1) Розрахунковий опір, що припадає на одиницю довжини кутового зварного шва, під час пожежі потрібно визначати за формулою

$$F_{w,Rd,fi,t} = F_{w,Rd} k_{w,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{fi}} \text{але } F_{w,Rd,fi,t} < F_{w,Rd} \quad (D.3)$$

де

$k_{w,\theta}$ визначають за таблицею D.1 для відповідної температури зварного шва;

$F_{w,Rd}$ розрахунковий опір зварного шва, що припадає на одиницю довжини, визначений згідно з EN 1993-1-8:2024 (6.5.3.3).

D.5 Температура з'єднань під час пожежі

(1) Температуру з'єднання можна оцінювати, користуючись локальним значенням A/V частин, що утворюють це з'єднання. Для з'єднань без вогнезахисту локальне значення A/V можна розрахувати як $2/t$, де " t " — загальна товщина з'єднаних сталевих

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

плит (наприклад, торцевої плити/полиці колони, оребрєння/ребра балки) у найтоншій частині з'єднання.

(2) Як альтернатива, для спрощення, температуру з'єднання без вогнезахисту можна приймати такою, яка дорівнює максимальній температурі з'єднаних сталєвих конструкцій без вогнезахисту.

(3) Для з'єднань, покритих вогнезахистом, температуру з'єднання потрібно приймати такою, яка дорівнює максимальній температурі з'єднаних сталєвих конструкцій, покритих вогнезахистом.

D.6 Зварні з'єднання сталєвих труб

D.6.1 Загальні положення

(1) D.6 поширюється тільки на з'єднання, що належать до однієї площини.

(2) Температуру θ_a зварного з'єднання труб потрібно приймати такою, яка дорівнює найвищій температурі з'єднаних конструкцій.

(3) Опір з'єднання за підвищеної температури потрібно визначати, множачи його опір під час розрахунку за звичайної температури на $k_{y,\theta}$, крім випадків, поданих в D.6.2 і D.6.3.

D.6.2 Зварні з'єднання труб з осьовим стисканням у розтяжках

(1) У з'єднаннях порожнистих таврових, кругових Y-подібних і хрестоподібних, а також прямокутних, квадратних та еліптичних профілів, у складі яких кріпильну конструкцію приєднують до широкої поверхні конструкції з поясом, а також у випадках, коли граничний стан з'єднання досягається в результаті пластичної деформації поверхні пояса, опір з'єднання за підвищеної температури потрібно визначати множенням його опору під час проектування за звичайної температури на коефіцієнт $k_{c1,\theta}$, поданий в таблиці D.2.

D.6.3 Зварні з'єднання труб з площинним моментом згину в розтяжках

(1) Опір за підвищеної температури з'єднання, граничний стан якого досягається в результаті пластичної деформації поверхні пояса, потрібно визначати множенням його опору під час проектування за звичайної температури на коефіцієнт $k_{c2,\theta}$, поданий в таблиці D.2.

Таблиця D.2 — Коефіцієнти підсилення для зварних з'єднань труб

Температура сталі θ_a	Коефіцієнт змінювання $k_{c1,\theta}$	Коефіцієнт змінювання $k_{c2,\theta}$
20 °C	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000
200 °C	0,900	0,950
300 °C	0,800	0,900
400 °C	0,700	0,850
500 °C	0,600	0,690
600 °C	0,310	0,390
700 °C	0,130	0,180
800 °C	0,090	0,100
900 °C	0,0675	0,064
1000 °C	0,0450	0,042
1100 °C	0,0225	0,021
1200 °C	0,0000	0,000

Примітка. Для проміжних значень температури сталі можна здійснювати лінійну інтерполяцію.

ДОДАТОК Е
(обов'язковий)
БАЛКИ З ВЕЛИКИМИ ОТВОРАМИ В РЕБРІ

Е.1 Призначення додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить додаткові до розділу 7 положення щодо проектування балок з великими отворами в ребрі, які зазнають вогневого впливу.

Е.2 Сфера застосування та обмеження щодо застосовності

(1) Цей обов'язковий додаток застосовний до сталевих балок з великими отворами в ребрі в межах сферах застосування EN 1993-1-13:2024.

(2) Цей обов'язковий додаток застосовний до балок, споряджених вогнезахистом і без вогнезахисту, які зазнають впливу номінальних температурних режимів згідно з EN 1991-1-2:2024 (5.2) або фізично обґрунтованих моделей пожежі згідно з EN 1991-1-2:2024 (5.3).

Е.3 Тепловий відгук

(1) Зміну температури можна розрахувати за формулою (7.58), користуючись значеннями коефіцієнта поперечного перерізу, залежними від того, чи прийнято підхід, який передбачає рівномірний або нерівномірний розподіл температури.

(2) Для підходу, який передбачає рівномірний розподіл температури, коефіцієнти поперечного перерізу для різних режимів настання граничного стану потрібно розраховувати таким чином:

— згинання в поперечному перерізі бруто (за відсутності отворів): для ситуації (1) таблиці Е.1;

- згинання в поперечному перерізі нетто (за наявності отворів): для ситуації (2) таблиці Е.1;
- згинання балки Віренделя для ситуації (3) таблиці Е.1 для верхнього пояса або ситуації (4) для нижнього пояса;
- згинання стійки балки: для ситуації (5) таблиці Е.1 для верхнього пояса або ситуації (6) для нижнього пояса;
- горизонтальний зсув ребра або зварного шва на стику поясів: для ситуації (7) таблиці Е.1;
- вертикальний зсув ребра: для ситуації (8) таблиці Е.1.

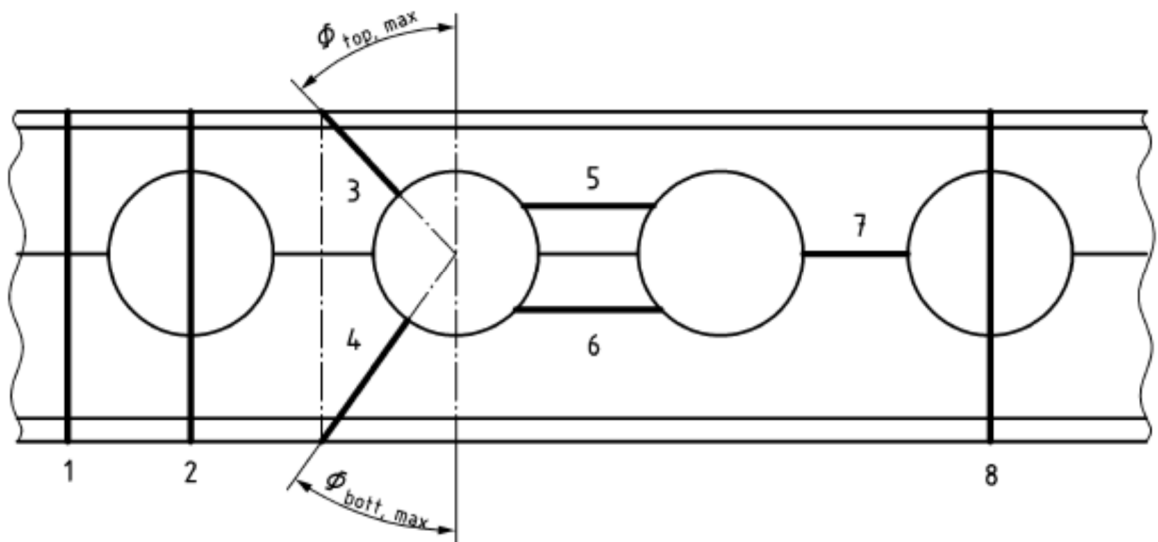


Рисунок Е.1 — Поперечні перерізи, на які впливає ймовірний режим досягнення граничного стану балкою з великими отворами в ребрі

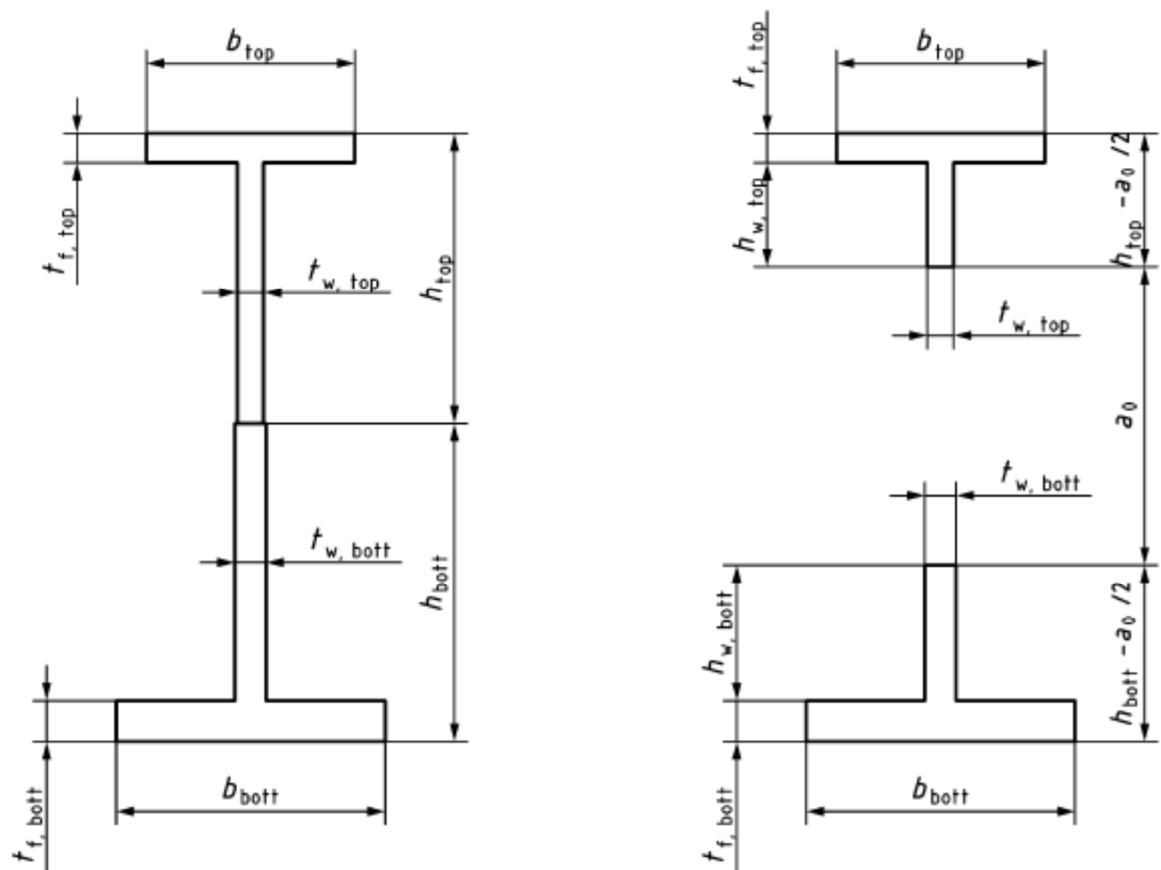
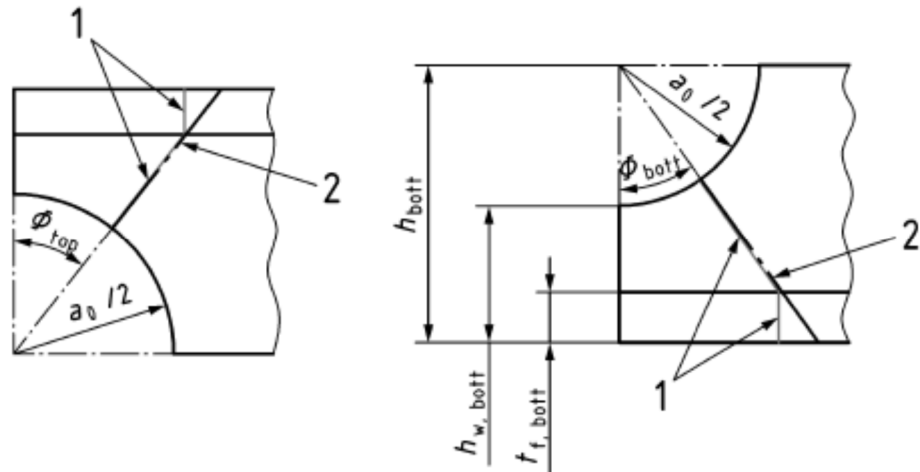


Рисунок Е.2 — Поперечний переріз бруто (ліворуч) і поперечний переріз нетто (праворуч) балки з великими отворами в ребрі

Таблиця Е.1 — Підхід, що передбачає однорідність температури. Коефіцієнти поперечного перерізу для різних режимів досягнення граничного стану балкою з великими отворами в ребрі під час пожежі

Режим досягнення граничного стану	Вогневий вплив Fire exposure	Коефіцієнт поперечного перерізу Section factor
Згин у перерізі брутто (1)	3 боки	$(A_m/V)_{1,3sides} = \frac{2(h_{top}+b_{bott}+h_{bott})+b_{top}-t_{w,top}-t_{w,bott}}{b_{top}t_{f,top}+(h_{top}-t_{f,top})t_{w,top}+b_{bott}t_{f,bott}+(h_{bott}-t_{f,bott})t_{w,bott}}$
	4 боки	$(A_m/V)_{1,4sides} = \frac{2(h_{top}+b_{top}+b_{bott}+h_{bott})-t_{w,top}-t_{w,bott}}{b_{top}t_{f,top}+(h_{top}-t_{f,top})t_{w,top}+b_{bott}t_{f,bott}+(h_{bott}-t_{f,bott})t_{w,bott}}$
Згин у перерізі нетто (2)	3 боки	$(A_m/V)_{2,3sides} = \frac{2(h_{top}+b_{bott}+h_{bott}-a_0)+b_{top}}{b_{top}t_{f,top}+h_{w,top}t_{w,top}+b_{bott}t_{f,bott}+h_{w,bott}t_{w,bott}}$
	4 боки	$(A_m/V)_{2,4sides} = \frac{h_{top}+b_{top}+b_{bott}+h_{bott}-a_0}{b_{top}t_{f,top}+h_{w,top}t_{w,top}+b_{bott}t_{f,bott}+h_{w,bott}t_{w,bott}}$
Балка Віренделя, згин у верхньому поясі (3)	3 боки	$(A_m/V)_{3,3sides} = \frac{b_{top}+2\left[\frac{a_0}{2}\left(\frac{1}{\cos\phi_{top}}-1\right)+\frac{h_{w,top}}{\cos\phi_{top}}+t_{f,top}\right]}{b_{top}t_{f,top}+\left[\frac{a_0}{2}\left(\frac{1}{\cos\phi_{top}}-1\right)+\frac{h_{w,top}}{\cos\phi_{top}}\right]t_{w,top}}$
	4 боки	$(A_m/V)_{3,4sides} = \frac{2\left[b_{top}+\frac{a_0}{2}\left(\frac{1}{\cos\phi_{top}}-1\right)+\frac{h_{w,top}}{\cos\phi_{top}}+t_{f,top}\right]}{b_{top}t_{f,top}+\left[\frac{a_0}{2}\left(\frac{1}{\cos\phi_{top}}-1\right)+\frac{h_{w,top}}{\cos\phi_{top}}\right]t_{w,top}}$
Балка Віренделя, згин у нижньому поясі (4)	4 боки	$(A_m/V)_{4,4sides} = \frac{2\left[b_{bott}+\frac{a_0}{2}\left(\frac{1}{\cos\phi_{bott}}-1\right)+\frac{h_{w,bott}}{\cos\phi_{bott}}+t_{f,bott}\right]}{b_{bott}t_{f,bott}+\left[\frac{a_0}{2}\left(\frac{1}{\cos\phi_{bott}}-1\right)+\frac{h_{w,bott}}{\cos\phi_{bott}}\right]t_{w,bott}}$
Згин стійки балки верхнього пояса (5)	—	$(A_m/V)_5 = \frac{2}{t_{w,top}}$
Згин стійки балки нижнього пояса (5)	—	$(A_m/V)_6 = \frac{2}{t_{w,bott}}$
Горизонтальний зсув ребра або зварного шва (7)	—	$(A_m/V)_7 = \frac{2}{\min(t_{w,top}; t_{w,bott})}$
Вертикальний зсув ребра (8)	—	$(A_m/V)_8 = \frac{2}{\min(t_{w,top}; t_{w,bott})}$

(3) Для граничного стану в результаті згину балки Віренделя можна приймати коефіцієнт поперечного перерізу похилого тавра, який забезпечує рівномірний розподіл температури в цьому таврі.



Умовні позначки:

- 1 поперечний переріз, використовуваний у розрахунку коефіцієнта поперечного перерізу
- 2 поперечний переріз, використовуваний у розрахунку несучої здатності

Рисунок Е.3 — Визначення поперечних перерізів, використовуваних для визначення коефіцієнта поперечного перерізу, а також згинання верхнього (ліворуч) і нижнього (праворуч) поясів балки Віренделя

(4) Для підходу, що передбачає нерівномірний розподіл температури, потрібно використовувати коефіцієнти поперечного перерізу згідно з таблицею Е.2 для верхньої полиці, нижньої полиці та ребра.

Таблиця Е.2 — Підхід, що передбачає нерівномірний розподіл температури. Коефіцієнти поперечного перерізу для полиць і ребра

Елемент	Вогневий вплив	Коефіцієнт поперечного перерізу A/V
Верхня полиця	з 3 боків	$\frac{b_{top} + 2t_{f,top}}{b_{top}t_{f,top}}$
	з 4 боків	$2 \frac{b_{top} + t_{f,top}}{b_{top}t_{f,top}}$
Нижня полиця	з 4 боків	$2 \frac{b_{bott} + t_{f,bott}}{b_{bott}t_{f,bott}}$
Ребро	—	$\frac{4}{t_{w,top} + t_{w,bott}}$

(5) Для балок з вогнезахистом з рівномірно розподіленими отворами, товщину вогнезахисту потрібно визначати згідно з EN 13381-4 або EN 13381-8 виходячи з коефіцієнта поперечного перерізу, вказаного в (4), і критичних температур, визначених для різних режимів досягнення граничного стану.

(6) На додаток до (5), критичну температуру балок, споряджених реактивними вогнезахисними покриттями, потрібно знижувати для режимів досягнення граничного стану, що відповідають опору або стійкості ребра згідно з EN 13381-9.

Примітка. EN 13381-9 установлює коефіцієнти змінювання коефіцієнта поперечного перерізу, що є специфічними для виробу і залежать від довжини стійки балки. Він враховує відмінність у швидкостях нагрівання стійки балки та її суцільної полиці.

Е.4 Механічний відгук

(1) Класифікацію поперечних перерізів, таврів та повздовжніх ребер жорсткості потрібно виконувати згідно з EN 1993-1-13:2024 (7.4,

пр ДСТУ EN 1993-1-2_

7.5, 7.6, відповідно), використовуючи зменшене значення для ε , визначене за формулою (7.2).

(2) Опір/стійкість конструкцій у прорізі за певної підвищеної температури θ потрібно визначати, застосовуючи EN 1993-1-13:2024 та замінюючи f_y на $f_{y,\theta}$, $E_{a,\theta}$ на $E_{a,\theta}$, а γ_{M0} , γ_{M1} , та γ_{M2} на $\gamma_{M,\theta}$.

(3) Згин ребра поблизу отвору найбільшої площі, а також згин стійки потрібно розраховувати згідно з EN 1993-1-13:2024, приймаючи коефіцієнт послаблення для згину в результаті згинання під час пожежі χ_{fi} таким, який визначається розрахунком за формулою (7.9).

(4) Спричинені тепловим впливом напруження потрібно оцінювати в місці з'єднання ребра з полицею зварних балок, за винятком випадків, коли ребро та полицю з'єднано:

— зварним швом з повним проплавленням;

— або двома безперервними кутовими зварними швами з ефективною шириною з'єднувального елемента, не меншою за половину товщини тієї з приєднаних пластин, товщина якої найбільша.

(5) На додаток до (1) — (4), до балок з синусоїдально розміщеними отворами застосовні (6) — (8).

(6) Критерій моменту зусилля та осьового зусилля для тавра (EN 1993-1-13:2024, формула (8.62)) має бути лінійним. Величина α_v має дорівнювати 1.

(7) Враховувати коефіцієнт перенапруження для опору стійки в умовах горизонтального зсуву (EN 1993-1-13:2024, 8.11.1 (4)) не потрібно.

(8) Глибину поперечного перерізу тавра потрібно розраховувати таким чином:

— Для отворів 1 класу ($C_{wT} = 1$), ефективним є весь поперечний переріз:

$$h_{\text{Eff},i} = h_t \quad (\text{E.1})$$

— Для інших класів глибина зменшується:

$$h_{\text{Eff},i} = \rho_h h_t \quad (\text{E.2})$$

де коефіцієнт послаблення ρ_h потрібно визначати за такою формулою:

$$\rho_h = \max(h_{\text{TC11}}/h_t; \rho_{h,\min}) \quad (\text{E.3})$$

в якій

$$h_{\text{TC11}} = t_f + t_c + 9\varepsilon_{\text{fi}} t_w \quad (\text{E.4})$$

водночас, ε_{fi} визначають за формулою (7.2), а $\rho_{h,\min}$ потрібно приймати такою, що дорівнює 0,8.

(9) Стосовно перевіряння зварних швів, застосовний D.4.

БІБЛІОГРАФІЯ

Документи, посилання на які подано в пунктах з рекомендаціями (тобто в пунктах з дієсловом «should»)

Посилання на названі нижче документи подано в тексті таким чином, що частина або всі їхні положення, хоча й не є вимогами, яких потрібно суворо дотримуватися, являють собою наполегливо рекомендовані варіанти вибору або способи дій відповідно до цього стандарту. Залежно від національних нормативних документів та/або положень контракту, можна користуватися/приймати альтернативні стандарти, якщо це технічно виправдано. Для датованих посилань застосовують тільки вказане видання. Для недатованих посилань застосовують останнє видання стандарту, на який подано посилання (із змінами).

EN 13501-2, *Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance and/or smoke control tests, excluding ventilation services*

EN 13381 (all parts), *Test method for determining the contribution to the fire resistance of structural members*

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 13501-2 Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 2. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість, крім складників вентиляційних систем

EN 13381 (усі частини) Методи випробування для визначення впливу на вогнестійкість елементів конструкцій

Документи, посилання на які подано в пунктах із зазначенням можливості (тобто в пунктах з дієсловом «can») і примітках

Посилання на нижчезазначені документи в цьому стандарті подано з метою інформування, наприклад, в пунктах з дієсловом «can» та примітках.

EN 10088-1, *Stainless steels - Part 1: List of stainless steels*

EN ISO 1461, *Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods (ISO 1461:2022)*

EN ISO 14713-2:2020, *Zinc coatings - Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures - Part 2: Hot dip galvanizing (ISO 14713-2:2019)*

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 10088-1 Сталі нержавіючі. Частина 1. Перелік нержавіючих сталей

EN ISO 1461 Покриви, нанесені гарячим цинкуванням на вироби з чавуну і сталі. Технічні вимоги та методи випробування (ISO 1461:2022)

EN ISO 14713-2:2020 Покриви цинкові. Настанови та рекомендації щодо захисту від корозії чавуну і сталі у складі конструкцій. Частина 2. Гаряче цинкування (ISO 14713-2:2019)

ДОДАТОК НА

(довідковий)

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ
ЄВРОПЕЙСЬКИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ, ПОСИЛАННЯ НА
ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ**

1. ДСТУ EN 1090-2:2019 (EN 1090-2:2018, IDT) Выполнение стальных и алюминиевых конструкций. Часть 2. Технические требования к стальным конструкциям

2. ДСТУ EN 1090-4:2019 (EN 1090-4:2018, IDT) Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 4. Технічні вимоги до холодноформованих сталевих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

3. ДСТУ EN 1991 (усі частини) Єврокод 1. Чинники впливу на конструкції

4. прДСТУ EN 1991-1-2_ (EN 1991-1-2:2024, IDT) Єврокод 1. Чинники впливу на конструкції. Частина 1-2. Чинники впливу на конструкції під час пожежі

5. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 (EN 1993-1-4:2006/A2:2020, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі. Зміна № 3:2022

6. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонок (EN 1993-1-6:2007, IDT)

7. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2012 (EN 1993-1-7:2007, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини. Зміна № 1. Проект, остаточна редакція

8. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з'єднань (EN 1993-1-8:2005, IDT)

9. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-11:2012 (EN 1993-1-11:2006, IDT) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Проектування конструкцій з розтягнутими елементами

Ключові слова: вогнестійкість, вуглецева сталь, нержавіюча сталь, проектування, сталеві конструкції.
