



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ДСТУ EN 1993-1-1:20__
(EN 1993-1-1:2022, IDT)

ЄВРОКОД 3
ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
Частина 1-1. Загальні правила і правила для
будівель і споруд

(Проект, перша редакція)

Київ
ДП «УкрНДНЦ»
20__

ПЕРЕДМОВА

1. РОЗРОБЛЕНО: Технічний комітет стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301)
2. ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від _____. 20__ р. № _____ з 20__-__-__
3. Національний стандарт відповідає EN 1993-1-1:2022 Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для будівель і споруд) і внесений з дозволу CEN-CENELEC, Rue de la Science 23, B-1040 Brussels, Belgium. Усі права щодо використання європейських стандартів у будь-якій формі й будь-яким способом залишаються за CEN-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 1993-1-1:2010 (EN 1993-1-1:2005, IDT),
Зміна № 1 до ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 (EN 1993-1-1:2005, IDT),
ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010/Зміна № 2:2018 (EN 1993-1-1:2005/A1:2014, IDT)

Право власності на цей національний стандарт належить державі.
Заборонено повністю або частково видавати, відтворювати
задля розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання
цей національний стандарт або його частини на будь-яких носіях інформації
без дозволу ДП «УкрНДНЦ» чи уповноваженої ним особи

ДП «УкрНДНЦ», 20XX

ЗМІСТ

	C.
Національний вступ	VII
Передмова до EN 1993-1-1:2022.....	IX
0 Вступ	XII
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	2
3 Терміни, визначення понять та позначки	3
3.1 Терміни та визначення понять.....	3
3.2 Позначки та скорочення.....	5
3.3 Умовні позначки осей елементів	25
4 Основи проєктування.....	28
4.1 Загальні правила	28
4.1.1 Основні вимоги	28
4.1.2 Конструкційна надійність	28
4.1.3 Живучість.....	28
4.1.4 Розрахунковий строк експлуатації будівель.....	29
4.1.5 Довговічність.....	29
4.2 Принципи розрахунку за граничними станами	30
4.3 Базові змінні.....	30
4.3.1 Дії та впливи довкілля.....	30
4.3.2 Властивості матеріалів, геометричні характеристики та властивості виробів	31
4.4 Перевіряння за допомогою метода часткових коефіцієнтів	31
4.4.1 Розрахункові значення дій.....	31
4.4.2 Розрахункові значення властивостей матеріалів	32
4.4.3 Розрахункові значення геометричних характеристик.....	32
4.4.4 Допуски	33
4.4.5 Розрахункові значення опору	34
4.5 Розрахунок, заснований на результатах випробування	34
5 Матеріали.....	35
5.1 Загальні положення.....	35
5.2 Конструкційна сталь.....	35
5.2.1 Властивості матеріалів	35

5.2.2 Вимоги щодо пластичності	37
5.2.3 Тріщиностійкість	38
5.2.4 Властивості за товщиною прокату	39
5.2.5 Значення інших властивостей матеріалу	39
5.3 Засоби з'єднання.....	40
5.4 Інші вироби заводського виготовлення для будівель	40
6 Довговічність	40
7 Конструкційний розрахунок.....	41
7.1 Моделювання конструкції для розрахунку	41
7.1.1 Основні припущення.....	41
7.1.2 Моделювання вузлів.....	41
7.2 Загальний розрахунок	42
7.2.1 Врахування ефектів другого порядку.....	42
7.2.2 Методи розрахунку для перевіряння відповідності вимогам щодо граничних станів за несною здатністю.....	47
7.3 Недосконалості.....	55
7.3.1 Основні вимоги	55
7.3.2 Недосконалості, що призводять до розхитування, застосовні в загальному розрахунку каркасів	56
7.3.3 Еквівалентна недосконалість викривлення для загального розрахунку та розрахунку елементів	59
7.3.4 Комбінація недосконалостей, що призводять до розхитування, та еквівалентних недосконалостей викривлення для загального розрахунку каркасів	62
7.3.5 Недосконалості для розрахунку систем в'язей.....	62
7.3.6 Недосконалість, від якої залежить тип критичної втрати стійкості в пружній стадії	66
7.4 Методи розрахунку з урахуванням нелінійних властивостей матеріалів	68
7.4.1 Загальні положення	68
7.4.2 Загальний пружний розрахунок	70
7.4.3 Загальний пластичний розрахунок.....	70
7.5 Класифікація поперечних перерізів	73
7.5.1 Основні вимоги	73
7.5.2 Класифікація.....	73
7.6 Вимоги щодо поперечного перерізу для загального пластичного розрахунку ...	75

8	Граничні стани за несною здатністю	82
8.1	Часткові коефіцієнти	82
8.2	Опір поперечних перерізів	82
8.2.1	Загальні положення	82
8.2.2	Характеристики перерізу	85
8.2.3	Розтяг	91
8.2.4	Стиск	92
8.2.5	Згин	93
8.2.6	Зсув	94
8.2.7	Кручення	99
8.2.8	Комбінація згину та зсуву	101
8.2.9	Комбінація згину та поздовжньої сили	104
8.2.10	Комбінація згину, зсуву та поздовжньої сили	109
8.2.11	Опір поперечним силам	110
8.3	Опір втраті стійкості елементів	113
8.3.1	Елементи з постійним поперечним перерізом за умов стиску	113
8.3.2	Елементи з постійним поперечним перерізом за умов згину	121
8.3.3	Елементи з постійним поперечним перерізом за умов згину та поздовжнього стиску	130
8.3.4	Загальний метод перевіряння опору конструкційних елементів щодо втрати стійкості за поперечною та поперечно-крутильною формами	138
8.3.5	Втрата стійкості за поперечно-крутильною формою елементів із пластичними шарнірами в будівлях	140
8.4	Елементи зі складеним постійним перерізом за умов стиску	144
8.4.1	Припущення та конструкційні деталі	144
8.4.2	Розрахункові значення зусиль для компонентів	148
8.4.3	Опір компонентів ґратчастих стиснутих елементів	149
8.4.4	Опір компонентів стиснутих елементів на планках	151
8.4.5	Елементи зі складеним перерізом із близько розташованими поясами	152
9	Граничні стани експлуатаційної придатності	154
9.1	Загальні положення	154
9.2	Деформації та динамічні ефекти для будівель	155
10	Втома	155
	Додаток А (обов'язковий) Обрання класу виконання	158

A.1 Використання цього додатка	158
A.2 Сфера застосування та призначеність	158
A.3 Клас виконання	158
A.4 Процес обирання	159
A.5 Клас виконання та часткові коефіцієнти	161
Додаток В (обов'язковий) Розрахунок напівкомпактних перерізів	162
В.1 Сфера застосування та призначеність	162
В.2 Момент опору перерізу у пружно-пластичній стадії.....	162
В.3 Опір поперечних перерізів	163
В.4 Опір втраті стійкості елементів.....	165
Додаток С (обов'язковий) Додаткові правила для елементів із постійними моносиметричними поперечними перерізами та елементів за умов згину, поздовжнього стиску і кручення	166
С.1 Додаткові правила для елементів із постійними моносиметричними поперечними перерізами	166
С.2 Додаткові правила для елементів із постійним поперечним перерізом за умов згину, поздовжнього стиску та кручення	169
Додаток D (обов'язковий) Неперервні закріплення балок у будівлях.....	172
D.1 Сфера застосування та призначеність	172
D.2 Неперервне закріплення від поперечного переміщення	172
D.3 Неперервне закріплення від кручення	173
Додаток Е (довідковий) Основні правила калібрування часткових коефіцієнтів.....	176
Е.1 Використання цього довідкового додатка.....	176
Е.2 Сфера застосування та призначеність	176
Е.3 Калібрування.....	176
Бібліографія.....	180
Додаток НА (довідковий) Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським та/або міжнародним нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті	184

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей національний стандарт ДСТУ EN 1993-1-1:20XX (EN 1993-1-1:2022, IDT) «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для будівель і споруд», прийнятий методом перекладу, – ідентичний щодо EN 1993-1-1:2022 (версія en) «Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings».

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

Цей стандарт прийнято на заміну ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 (EN 1993-1-1:2005, IDT), Зміни №1 до ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 (EN 1993-1-1:2005, IDT), ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010/Зміни № 2:2018 (EN 1993-1-1:2005/A1:2014, IDT).

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

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «цей європейський стандарт», «ця частина стандарту» і «цей документ» замінено на «цей стандарт»;

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

- у «Вступі», розділі 2 «Нормативні посилання», розділі 3 «Терміни, визначення понять та позначки» і «Бібліографії» наведено «Національні пояснення», виділені рамкою;

- рисунки наведено відразу після тексту, де вперше виконано посилання на них, або на наступній сторінці;

прДСТУ EN 1993-1-1:20XX

– долучено довідковий додаток НА (Перелік національних стандартів України, ідентичних європейським та міжнародним нормативним документам, посилання на які є в цьому стандарті);

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

ПЕРЕДМОВА до EN 1993-1-1:2022

Цей стандарт (EN 1993-1-1:2022) розроблено Технічним комітетом CEN/TC 250 «Будівельні Єврокоди», секретаріат якого діє за підтримки BSI (*British Standards Institution* – Британський інститут стандартів). CEN/TC 250 є відповідальним за всі будівельні Єврокоди, і на нього організацією CEN покладено відповідальність за питання в сфері конструкційного та геотехнічного проектування.

Цьому стандарту має бути надано статус національного стандарту за умов публікації ідентичного тексту або схваленням не пізніше вересня 2027 року, а національні стандарти, положення яких суперечать цьому стандарту, має бути скасовано не пізніше березня 2028 року.

Потрібно звернути увагу на те, що деякі елементи цього стандарту можуть бути предметом патентних прав. CEN не несе відповідальності за ідентифікацію будь-якого чи всіх таких патентних прав.

Цей стандарт замінює EN 1993-1-1:2005 та зміни і поправки до нього.

Комплекс стандартів EN першого покоління Єврокодів було опубліковано у період від 2002 до 2007 року. Цей стандарт є частиною комплексу стандартів другого покоління Єврокодів, які було розроблено згідно з дорученням M/515, виданим CEN Європейською комісією та Європейською асоціацією вільної торгівлі.

Ці Єврокоди містять положення, в яких встановлено вимоги щодо виконання конструкцій, використання матеріалів, продукції та випробувань, які призначено для застосування разом із відповідними стандартами на виконання конструкцій, на матеріали, продукцію та випробування.

В Єврокодах зазначено відповідальність кожної з держав-членів та захищено їхнє право за допомогою національних додатків установлювати на національному рівні значення, пов'язані з нормативними вимогами щодо безпеки.

Нижче наведено основні зміни порівняно з попередньою редакцією стандарту:

- сферу застосування EN 1993-1-1 розширено долученням марок сталі до S700 включно;
- до сфери застосування долучено проектування порожнистих профілів еліптичного перерізу;
- методи конструкційного розрахунку уточнено та узагальнено у вигляді блок-схеми;
- впроваджено новий метод розрахунку напівкомпактних перерізів (клас 3);
- удосконалено положення щодо ефектів кручення, що впливають на опір поперечних перерізів та елементів конструкцій;
- уведено новий метод розрахункового перевіряння балок на втрату стійкості за поперечно-крутильною формою;
- повністю переглянуто спрощений метод розрахункового перевіряння на втрату стійкості за поперечно-крутильною формою;
- чітко висвітлено питання розрахунку елементів із постійними моносиметричними поперечними перерізами;
- впроваджено спрощений підхід до проектування із забезпеченням опору втомі;
- уведено довідковий додаток, в якому наведено статистичні дані щодо властивостей матеріалів та розмірних характеристик, які використовують для калібрування часткових коефіцієнтів.

Всі відгуки та запитання щодо цього стандарту має бути спрямовано до національних органів зі стандартизації у країнах користувачів. Повний перелік цих органів опубліковано на веб-сайті CEN.

Відповідно до внутрішніх настановних документів CEN-CENELEC цей стандарт зобов'язані прийняти національні органи стандартизації таких країн: Австрії, Бельгії, Болгарії, Хорватії, Кіпру, Чеської Республіки, Данії, Естонії, Фінляндії, Франції, Німеччини, Греції, Угорщини, Ісландії, Ірландії, Італії, Латвії, Литви, Люксембургу, Мальти, Нідерландів, Норвегії, Польщі, Португалії, Республіки Північної Македонії, Румунії, Сербії, Словаччини, Словенії, Іспанії, Швеції, Швейцарії, Туреччини та Великої Британії.

0 ВСТУП

0.1 Вступ до комплексу Єврокодів

Комплекс будівельних Єврокодів містить наведені нижче стандарти, що зазвичай складаються з кількох частин:

- EN 1990 Єврокод. Основи будівельного та геотехнічного проектування
- EN 1991 Єврокод 1. Дії 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
- нові Єврокоди, що перебувають у стадії розроблення, зокрема, Єврокод із проектування скляних конструкцій.

0.2 Вступ до EN 1993 (усі частини)

EN 1993 (усі частини) застосовують для проектування будівель та споруд зі сталі. Єврокод відповідає принципам і вимогам щодо безпеки та експлуатаційної придатності конструкцій, основним правилам їх проектування та перевіряння, які викладено в EN 1990 «Основи будівельного та геотехнічного проектування».

В EN 1993 (усі частини) розглянуто лише вимоги щодо опору, експлуатаційної придатності, довговічності та вогнестійкості сталевих

конструкцій. Інші вимоги, зокрема, щодо тепло- чи звукоізоляції, в Єврокодi не охоплено.

EN 1993 містить такі частини:

- EN 1993-1 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1. Загальні правила і правила для будівель;
- EN 1993-2 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 2. Сталеві мости;
- EN 1993-3 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 3. Башти, щогли і димові труби;
- EN 1993-4 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 4. Силоси і резервуари;
- EN 1993-5 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 5. Палі;
- EN 1993-6 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 6. Підкранові конструкції;
- EN 1993-7 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 7. Проєктування сендвіч-панелей (у стадії розроблення).

EN 1993-1 як документ фізично не існує, а складається з зазначених нижче 14 окремих стандартів, серед яких основною частиною є EN 1993-1-1:

EN 1993-1-1 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила та правила для будівель;

EN 1993-1-2 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Протипожежне проєктування конструкцій;

EN 1993-1-3 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Холодноформовані елементи та профільовані листи;

Примітка. В EN 1993-1-1 охоплено холодноформовані порожнисті профілі, які постачають згідно з EN 10219 (усі частини).

EN 1993-1-4 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-4. Конструкції з нержавкої сталі;

EN 1993-1-5 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструкційні елементи;

EN 1993-1-6 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-6. Міцність та стійкість оболонкових конструкцій;

EN 1993-1-7 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті конструкції, навантажувані поза межами площини;

EN 1993-1-8 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проєктування вузлів;

EN 1993-1-9 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-9. Втома;

EN 1993-1-10 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Властивості тріщиностійкості й міцності матеріалу у напрямі товщини прокату;

EN 1993-1-11 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Проєктування конструкцій із розтягнутими елементами;

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

EN 1993-1-13 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-13. Правила для балок із великими отворами в стінці;

EN 1993-1-14 Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-14. Проєктування за використання розрахунку методом скінченних елементів (на стадії розроблення).

В усіх частинах стандарту від EN 1993-1-2 до EN 1993-1-14 розглянуто загальні теми, незалежно від типу конструкції, наприклад, протипожежне проєктування конструкцій, холодноформовані елементи та профільовані листи, конструкції з нержавкої сталі, пластинчасті конструкційні елементи тощо.

В усіх частинах стандарту від EN 1993-2 до EN 1993-7 розглянуто теми, що стосуються конкретних типів конструкцій, наприклад, сталеві мости, башти, щогли та димові труби, силоси та резервуари, палі, підкранові конструкції тощо. Частина стандарту від EN 1993-2 до EN 1993-7 містять посилання на загальні правила, викладені в EN 1993-1, а також доповнюють, змінюють чи замінюють їх, якщо застосовно.

0.3 Вступ до EN 1993-1-1

В EN 1993-1-1 викладено загальні правила проєктування сталевих конструкцій. Стандарт містить також додаткові правила проєктування будівель зі сталевих конструкцій. Основну увагу в EN 1993-1-1 зосереджено на методах розрахунку та правилах проєктування окремих елементів (балок, колон та стиснуто-зігнутих балок) і каркасних конструкцій (каркасів) за дотримання вимог щодо опору та стійкості.

0.4 Дієслівні форми, які використано в Єврокодах

За допомогою дієслова «shall» виражають вимогу, якої має бути суворо дотримано і від якої, задля досягнення відповідності Єврокодам, не допустимо жодного відхилення.

За допомогою дієслова «should» виражають настійно рекомендований варіант чи спосіб дії. Відповідно до національних регуляторних вимог та/або будь-яких відповідних договірних положень

може бути використано/прийнято альтернативні підходи, якщо їхню доцільність технічно обґрунтовано.

За допомогою дієслова «may» виражають спосіб дії, допустимий у межах сфери застосування Єврокодів.

За допомогою дієслова «can» виражає можливість і здатність; його використовують для констатування фактів та роз'яснення понять.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

Для перекладу цього стандарту використано положення довідкового додатка Е ДСТУ 1.5:2015 «Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів» з урахуванням вимоги щодо дотримання принципу зворотності ідентичного перекладу згідно з ДСТУ 1.7:2015 «Національна стандартизація. Правила та методи прийняття міжнародних і регіональних нормативних документів», зокрема:

– вимоги, яких має бути суворо дотримано і від яких не допустимо жодного відхилення, сформульовано за допомогою висловів: «(не) потрібно + дієслово в неозначеній формі», «потрібно, щоб + стверджувальний вислів»; «(не) треба + дієслово в неозначеній формі», «має(-ють) + дієслово в неозначеній формі»;

– настійно рекомендований вибір чи спосіб дії сформульовано за допомогою висловів: «(не) рекомендовано + дієслово в неозначеній формі», «дієслово у формі 3 особи множини в безособовому значенні» (як усталена практика, рекомендована за умовчанням);

– спосіб дії, (не) допустимий у межах сфери застосування стандарту, сформульовано за допомогою вислову: «(не) допустимо + дієслово в неозначеній формі»; «(не) можна + дієслово в неозначеній формі»;

– спосіб дії, (не) можливий чи такий, що обумовлено (не) здатністю суб'єкта дії або (не) придатністю об'єкта дії для реалізації поставленої цілі, сформульовано за допомогою висловів: «(не) можливо + дієслово в неозначеній формі» «(не) може бути + дієслово в безособовій формі».

0.5 Національний додаток до EN 1993-1-1

Цей стандарт містить параметри, визначення яких допустимо на національному рівні, якщо про це чітко зазначено в примітках. Призначення параметрів, які визначають на національному рівні, означає обрання значень для національно визначених параметрів (*Nationally Determined Parameters, NDP*).

Національний стандарт, який імплементує EN 1993-1-1, може мати національний додаток, що містить усі визначені на національному рівні параметри, які має бути використано для проєктування будівель та споруд, що буде зведено у відповідній країні.

Якщо відкриті для національного вибору параметри не визначено на національному рівні, то, за умовчанням, потрібно використовувати значення параметрів, наведені у цьому стандарті.

Якщо відкриті для національного вибору параметри не визначено на національному рівні, а в цьому стандарті не наведено застосовні за умовчанням значення параметрів, то параметри на національному рівні може бути визначено компетентним органом влади, або ж, якщо й ним не визначено ці параметри, то їх мають узгодити відповідні сторони-учасники конкретного проєкту.

Визначення на національному рівні параметрів, зазначених у EN 1993-1-1, дозволено за такими пунктами:

4.4.3 (2); 5.1 (1); 5.2.1 (1); 5.2.2 (1);

7.2.1 (4);	7.2.2 (9);	7.3.3.1 (1);	7.3.3.2 (1);
7.4.1 (3);	8.1 (1);	8.2.8 (3);	8.3.2.3 (1);
8.3.3 (2);	8.3.4 (1);	9.2 (2)В;	A.4 (2);
A.4 (3);	A.4 (5).		

В EN 1993-1-1 відкритим для застосування на національному рівні є наведений нижче довідковий додаток:

додаток Е.

Національний додаток може містити, безпосередньо чи за допомогою посилання, додаткову інформацію, що не суперечить положенням стандарту і призначена для спрощення процесу його впровадження, не змінюючи жодним чином будь-яких положень Єврокодів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ЄВРОКОД 3. ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Частина 1-1. Загальні правила і правила для будівель і споруд

EUROCODE 3 – DESIGN OF STEEL STRUCTURES

Part 1-1: General rules and rules for buildings

Чинний від 20XX-XX-XX

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Сфера застосування EN 1993-1-1

(1) EN 1993-1-1 установлює основні правила проєктування сталевих конструкцій.

(2) Стандарт містить також додаткові положення щодо проєктування будівель зі сталевих конструкцій. Ці додаткові положення позначено літерою «В» після номеру пункту: ()В.

1.2 Припущення

(1) Щодо EN 1993-1-1 застосовують припущення, прийняті в EN 1990.

(2) Стандарти EN 1993 призначено для використання разом із EN 1990, EN 1991 (усі частини), тими частинами стандартів від EN 1992 до EN 1999, в яких розглянуто сталеві конструкції чи сталеві компоненти, EN 1090-2, EN 1090-4, іншими стандартами EN, документами EAD (*European Assessment Document* – Європейський оцінювальний документ) та ETA (*European Technical Assessment* – Європейська технічна оцінка), які поширюються на будівельні вироби (продукцію), що використовують у сталевих конструкціях.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Цей стандарт містить посилання на наведені нижче документи у такий спосіб, що частина або весь їх зміст обґрунтовує викладені в ньому вимоги. У разі датованих посилань застосовують тільки наведені видання. У разі недатованих посилань потрібно користуватись останнім виданням нормативних документів (разом зі змінами).

Примітка. У Бібліографії наведено перелік інших документів, посилання на які зазначено в цьому стандарті, але які не є нормативними, та тих, що наведено як рекомендовані (тобто в пунктах, сформульованих як рекомендації (за використання дієслова «should») чи дозволені варіанти/способи дії (за використання дієслова «may»).

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 1990¹ Eurocode – Basis of structural and geotechnical design

EN 1991 (all parts) Eurocode 1 – Actions on structures

EN 1993-1 (all parts) Eurocode 3: Design of steel structures

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 холодноформованих сталевих будівельних елементів і конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

¹ На розгляді. Стадія на час публікації цього стандарту: FprEN 1990:2022

EN 1990 Єврокод. Основи будівельного та геотехнічного проектування

EN 1991 (всі частини) Єврокод 1. Дії на конструкції

EN 1993-1 (всі частини) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій

3 ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ ТА ПОЗНАКИ

У цьому стандарті вжито терміни та визначення позначених ними понять згідно з EN 1990, а також наведені нижче.

3.1 Терміни та визначення понять

3.1.1 каркас; рама (*frame*)

Конструкція загалом або її частина, складена з безпосередньо з'єднаних конструкційних елементів, призначених для спільного сприйняття навантажень

Примітка 1. Цей термін застосовний як до каркасів, що сприймають моменти, так і до триангуляційних каркасів. Він охоплює як плоскі, так і просторові каркаси.

3.1.2 підкаркас (*sub-frame*)

Каркас, що є частиною більшого каркасу, але під час конструкційного розрахунку його розглядають як відокремлений каркас

3.1.3 напівжорсткий каркас (*semi-continuous framing*)

Каркас, для загального розрахунку якого потрібно детально враховувати конструкційні властивості (жорсткості) елементів та вузлів

3.1.4 жорсткий каркас (*continuous framing*)

Каркас, для загального розрахунку якого потрібно враховувати лише конструкційні властивості (жорсткості) елементів.

3.1.5 шарнірний каркас (*simple framing*)

Каркас, в якому вузли не призначено на сприйняття моментів

3.1.6 геометрична довжина (*system length*)

Відстань у заданій площині між двома сусідніми точками елемента, в яких він закріплений від поперечних переміщень у цій площині, або між однією такою точкою та кінцем елемента

3.1.7 розрахункова довжина (*buckling length*)

Геометрична довжина подібного елемента з шарнірами на кінцях, втрата стійкості якого відбувається за такого самого критичного навантаження, що й розглядуваного елемента чи його відрізка

3.1.8 еквівалентний елемент (*equivalent member*)

Вільно обпертий однопрогоновий елемент із постійним поперечним перерізом за постійно діючої стискальної поздовжньої сили, що використовують для перевіряння на втрату стійкості

Примітка 1. Його довжина, поперечний переріз та поздовжня сила дорівнюють відповідній розрахунковій довжині, поперечному перерізу та поздовжній силі досліджуваного елемента в конструкції.

3.1.9 ефект запізнення зсуву (*shear lag effect*)

Нерівномірний розподіл напружень у широких полицях балок внаслідок деформації за умов зсуву

3.1.10 вичерпне проєктування (*capacity design*)

Метод проєктування, спрямований на використання пластичної деформаційної здатності елемента завдяки забезпеченню додаткової міцності його з'єднань та інших приєднаних до нього частин конструкції

3.1.11 елемент зі складеним постійним перерізом (*uniform built-up member*)

Складений елемент, виготовлений із паралельно розташованих поясів із номінально постійним поперечним перерізом по всій їхній довжині, які з'єднано рівновіддаленими планками чи розкісними ґратками

3.1.12 елемент із постійним перерізом (*uniform member*)

Елемент із номінально постійним поперечним перерізом по всій його довжині

3.1.13 вилкове обпирання (*fork end condition*)

Стан обпирання, у якому балка утримується вертикально та/або з боків (горизонтально), але може вільно повертатися в плані

Примітка 1. Більш детальні роз'яснення наведено в prCEN/TR 1993-1-103² Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-103: Elastic critical buckling of members.

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

prCEN/TR 1993-1-103 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-103. Втрата стійкості елементів за критичного навантаження у пружній стадії

3.2 Позначки та скорочення

3.2.1 Латинські літери верхнього регістру

A – площа поперечного перерізу;

A_c – площа еквівалентної стиснутої полиці;

A_{ch} – площа поперечного перерізу однієї хорди колони зі складеним перерізом;

A_{dia} – площа поперечного перерізу однієї діагоналі колони зі

² На розгляді.

складеним перерізом;

A_{eff} – ефективна площа поперечного перерізу;

A_f – площа однієї полиці;

A_i – площа поперечного перерізу для розрахунку характеристичного опору поздовжній силі;

A_{net} – площа нетто поперечного перерізу;

A_p – площа поперечного перерізу одного стояка (чи поперечного елемента) колони зі складеним перерізом;

A_t – площа розтягнутої полиці;

$A_{t,net}$ – площа нетто розтягнутої полиці;

A_v – площа зсуву;

A_w – площа стінки;

A_0 – початкова площа поперечного перерізу;

B_{Ed} – розрахункове значення бімоменту;

B_{Rd} – розрахункове значення опору бімоменту;

B_{Rk} – характеристичне значення опору бімоменту;

C_D – крутильна жорсткість, забезпечувана стійкістю суцільного середовища за умов безперервного розкріплення конструкції;

$C_{D,A}$ – крутильна жорсткість, забезпечувана стійкістю з'єднання між балкою та суцільною конструкцією;

$C_{D,B}$ – крутильна жорсткість, виведена з результатів розрахунку деформацій кручення поперечних перерізів балки;

$C_{D,C}$ – крутильна жорсткість, забезпечувана стійкістю суцільної конструкції за припущення її жорсткого з'єднання з елементом;

C_{my}, C_{mz}, C_{mLT} – коефіцієнти переходу до еквівалентної прямокутної епюри моментів;

E – модуль пружності;

$EI|\eta''_{cr,m}|$ – абсолютне значення згинального моменту завдяки $\eta_{cr,m}$ у критичному поперечному перерізі m ;

$F_{cr,ns}$ – мінімальне критичне навантаження в пружній стадії, що спричиняє втрату стійкості за згинальною формою із вигином елемента в площині чи із площини (без розхитування);

$F_{cr,sw}$ – мінімальне критичне навантаження в пружній стадії, що спричиняє втрату стійкості за згинальною формою з вигином у площині (з розхитуванням) у разі загальної втрати стійкості;

F_d – розрахункове значення навантаження на конструкцію;

$F_{H,d}$ – розрахункове значення сумарного горизонтального навантаження;

$F_{V,d}$ – розрахункове значення сумарного вертикального навантаження;

$F_{z,Ed}$ – розрахункове значення поперечної сили;

$F_{z,Rd}$ – розрахункове значення опору поперечній силі;

G – модуль зсуву;

G_k – характеристичне значення постійної дії;

H – висота конструкції;

H_f – фіктивна горизонтальна сила;

H_{st} – висота поверху;

I – момент інерції (момент інерції площі);

I_b – момент інерції планки в площині;

I_{ch} – момент інерції поясу в площині;

I_{eff} – момент інерції ефективної площі елемента зі складеним поперечним перерізом;

I_T – момент інерції поперечного перерізу за вільного кручення (константа кручення);

I_w – секторіальний момент інерції поперечного перерізу (константа деформації);

I_y, I_z – момент інерції поперечного перерізу відносно осей у-у та z-z відповідно;

$I_{z,fl}$ – момент інерції одної полиці відносно осі z-z;

I_1 – приведений момент інерції складеного елемента на планках;

K_{st} – поперечна жорсткість поверху;

K_v – коефіцієнт для врахування типу (розрахункової) перевірки щодо оцінювання розкріплень від кручення;

K_θ – коефіцієнт для врахування розподілу моментів у разі оцінювання розкріплень від кручення;

L – довжина (довжина елемента, довжина прогону тощо);

L_c – довжина між двома послідовно розташованими розкріпленнями від поперечного зсуву;

L_{ch} – розрахункова довжина хорди в елементі зі складеним

поперечним перерізом;

L_{cr} – розрахункова довжина;

L_d – довжина діагоналі в елементі зі складеним поперечним перерізом;

L_{st} – стабільна довжина відрізка;

$M_{b, Rd}$ – розрахункове значення опору втраті стійкості елемента за умов згину;

$M_{B, Rd}$ – розрахункове значення приведенного опору поперечного перерізу згинальному моменту з урахуванням наявності бімоменту;

$M_{B,V, Rd}$ – розрахункове значення приведенного опору поперечного перерізу згинальному моменту з урахуванням зсувного зусилля та бімоменту;

M_{cr} – критичний момент для втрати стійкості за поперечно-крутильною формою у пружній стадії;

$M_{c, Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту відносно однієї головної осі поперечного перерізу;

M_{Ed} – розрахункове значення згинального моменту;

M_{Ed}^I – розрахункове значення максимального моменту за теорією першого порядку в складеному елементі;

$M_{el, Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту в пружній стадії;

$M_{ep, Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту в пружно-пластичній стадії;

M_h – момент вигинання на кінцях елемента;

$M_{N,ep, Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту в

пружно-пластичній стадії з урахуванням наявності
поздовжньої сили;

$M_{N,Rd}$ – розрахункове значення приведенного опору
згинальному моменту з урахуванням наявності
поздовжньої сили;

$M_{pl,Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту в
пластичній стадії;

M_{Rk} – характеристичне значення опору згинальному
моменту;

$M_{Rk,m}$ – характеристичне значення опору згинальному
моменту критичного поперечного перерізу m ;

M_s – додатний момент вигину посередині прогону
елемента;

$M_{V,Rd}$ – розрахункове значення приведенного опору
згинальному моменту в пластичній стадії з
урахуванням наявності зсувної сили;

$M_{y,Ed}$ – розрахункове значення згинального моменту відносно
осі y-y;

$M_{y,Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту
відносно осі y-y;

$M_{y,Rk}$ – характеристичне значення опору згинальному
моменту відносно осі y-y;

$M_{z,Ed}$ – розрахункове значення згинального моменту відносно
осі z-z;

$M_{z,Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту
відносно осі z-z;

$M_{z,Rk}$ – характеристичне значення опору згинальному моменту відносно осі z-z;

M_0 – згинальний момент посередині прогону вільно обпертого елемента (визначають на еквівалентному елементі з умовами вільного обпирання кінців);

N – кількість циклів напруження впродовж розрахункового строку експлуатації;

$N_{b,Rd}$ – розрахункове значення опору втраті стійкості елемента за стиску;

$N_{c,Rd}$ – розрахункове значення опору поздовжній силі поперечного перерізу за рівномірного стиску;

$N_{ch,Ed}$ – розрахункове значення поздовжньої сили в поясі, посередині складеного елемента;

N_{cr} – критична поздовжня сила у пружній стадії за відповідної форми втрати стійкості, що ґрунтується на характеристиках поперечного перерізу брутто;

$N_{cr,c,z}$ – критична поздовжня сила у пружній стадії в разі втрати стійкості за згинальною формою еквівалентної стиснутої полиці;

$N_{cr,m}$ – критична поздовжня сила в поперечному перерізі m у пружній стадії;

$N_{cr,T}$ – критична поздовжня сила в пружній стадії в разі втрати стійкості за крутильною формою;

$N_{cr,TF}$ – критична поздовжня сила в пружній стадії в разі втрати стійкості за згинально-крутильною формою;

$N_{cr,V}$ – ефективна критична поздовжня сила складеного елемента з урахуванням ефекту від його зсувної

жорсткості;

$N_{cr,y}, N_{cr,z}$ – критична поздовжня сила в пружній стадії за втрати стійкості відносно осі у-у чи осі z-z, відповідно;

N_{Ed} – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили;

$N_{Ed,m}$ – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили, прикладеної до поперечного перерізу m ;

$N_{f,Ed}$ – розрахункове значення поздовжньої сили в стиснутій полиці розкріпленого елемента в місці розташування пластичного шарніра;

$N_{net,Rd}$ – розрахункове значення опору поздовжній силі в пластичній стадії поперечного перерізу нетто;

$N_{pl,Rd}$ – розрахункове значення опору поздовжній силі в пластичній стадії поперечного перерізу бруто;

N_{Rd} – розрахункове значення опору поздовжній силі;

N_{Rk} – характеристичне значення опору поздовжній силі;

$N_{Rk,m}$ – характеристичне значення опору поздовжній силі поперечного перерізу m ;

$N_{t,Rd}$ – розрахункове значення опору поздовжній силі за розтягу;

$N_{u,Rd}$ – розрахункове значення граничного опору поздовжній силі поперечного перерізу нетто за наявності отворів для кріпильних виробів;

P_k – характеристичне значення попереднього напруження, прикладеного під час монтажу;

Q_m – зосереджена сила, прикладена до кожного

розкріпленого елемента в місцях утворення пластичних шарнірів;

R_{eH} – границя текучості, прийнята з відповідного стандарту на продукцію;

R_d – розрахункове значення опору;

R_k – характеристичне значення опору;

R_m – граничне значення міцності, прийняте з відповідного стандарту на продукцію;

S – статичний момент (перший момент площі);

S_{Vb} – зсувна жорсткість елемента зі складеним перерізом зі з'єднувальними планками чи розкісними ґратками;

S_v – зсувна жорсткість, забезпечувана листовим покриттям;

T_{Ed} – розрахункове значення повного внутрішнього крутильного моменту;

$T_{t,Ed}$ – розрахункове значення внутрішнього крутильного моменту за Сен-Венаном;

T_{Rd} – розрахункове значення опору крутильному моменту;

$T_{w,Ed}$ – розрахункове значення внутрішнього крутильного моменту за деформації;

$V_{c,Rd}$ – розрахункове значення опору зсувному зусиллю;

V_{Ed} – розрахункове значення зсувного зусилля;

V_{Ed}^I – розрахункове значення зсувного зусилля за теорією першого порядку в складеному елементі;

$V_{pl,Rd}$ – розрахункове значення опору зсувному зусиллю в пластичній стадії;

$V_{pl,T,Rd}$ – розрахункове значення приведенного опору зсуву в пластичній стадії з урахуванням наявності крутильного моменту;

$W_{pl,B}$ – момент опору перерізу в пластичній стадії щодо бімоменту;

W_{eff} – момент опору ефективного перерізу;

$W_{eff,y,min}$ – мінімальний момент опору ефективного перерізу за згину відносно осі у-у;

W_{el} – момент опору перерізу в пружній стадії;

$W_{el,min}$ – мінімальний момент опору перерізу в пружній стадії;

$W_{el,y}, W_{el,z}$ – момент опору перерізу в пружній стадії за згину відносно осі у-у та осі z-z, відповідно;

$W_{el,y,min}$ – мінімальний момент опору перерізу в пружній стадії за згину відносно осі у-у;

W_{ep} – момент опору перерізу в пружно-пластичній стадії у разі поперечного перерізу класу 3;

$W_{ep,y}, W_{ep,z}$ – момент опору перерізу в пружно-пластичній стадії за згину відносно осі у-у та осі z-z, відповідно

W_{pl} – момент опору перерізу в пластичній стадії;

$W_{pl,y}, W_{pl,z}$ – момент опору перерізу в пластичній стадії за згину відносно осі у-у та осі z-z, відповідно;

X_d – розрахункове значення базової змінної;

X_k – характеристичне значення базової змінної;

$X_{k,i}$ – характеристичне значення властивості матеріалу;

$X_{k,th}$ – задане характеристичне значення базової змінної;

X_m – середнє значення базової змінної;

X_n – номінальне значення базової змінної;

X_{rep} – репрезентативне значення властивостей матеріалу;

$X_{5\%}$ – верхнє контрольне значення;

$X_{0,12\%}$ – нижнє контрольне значення;

Z_{Ed} – потрібне розрахункове значення Z , що залежить від величини деформацій внаслідок обумовленої закріпленням усадки металу під зварними швами;

Z_{Rd} – наявне розрахункове значення Z ;

3.2.2 Латинські літери нижнього регістру

a – відношення площі стінки до площі перерізу брутто;

a_d – розрахункове значення геометричних характеристик;

a_f – відношення площі перерізу менших сторін до площі перерізу брутто порожнистих профілів із прямокутним перерізом;

a_w – відношення площі перерізу більших сторін до площі перерізу брутто порожнистих профілів із прямокутним перерізом;

b – ширина поперечного перерізу;

c – ширина або глибина частини поперечного перерізу;

d – зовнішній діаметр порожнистого профілю з круглим перерізом;

d_{ch} – відстань уздовж пояса елемента зі складеним перерізом між двома послідовно розташованими ґратками чи планками;

d_e – еквівалентний діаметр порожнистих профілів із круглим та еліптичним перерізами;

d_w – висота стінки між валиками або лицьовими поверхнями зварних швів;

d_z – відстань розташування проміжних бічних опор від центру зсуву поперечного перерізу;

d_0 – діаметр отвору під болт;

e_N – зміщення центру ваги ефективної площі, A_{eff} , відносно центру ваги поперечного перерізу бруто;

$e_{N,y}$ – зміщення центру ваги ефективної площі, A_{eff} , відносно центру ваги поперечного перерізу бруто, що призводить до згинального моменту відносно осі у-у;

$e_{N,z}$ – зміщення центру ваги ефективної площі, A_{eff} , відносно центру ваги поперечного перерізу бруто, що призводить до згинального моменту відносно осі z-z;

e_0 – еквівалентна недосконалість викривлення;

$e_{0,LT}$ – еквівалентна недосконалість викривлення у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

$e_{0,m}$ – еквівалентна недосконалість викривлення для критичного перерізу m ;

f_m – коефіцієнт для врахування ефекту розподілення згинального моменту між окремими бічними елементами закріплення;

f_y – границя текучості;

$f_{y,red}$ – зменшена границя текучості;

f_u – границя міцності за розтягу;

h – висота поперечного перерізу;

h_w – висота стінки;

h_0 – відстань між центрами ваги поясів складеної колони;

i – радіус інерції відносно відповідної осі, що визначають використовуючи характеристики поперечного перерізу бруто;

$i_{\min}$ – мінімальний радіус інерції окремих кутів (повертання);

i_y, i_z – радіус інерції у разі згинання відносно осі у-у та осі z-z відповідно;

i_p – полярний радіус інерції;

I_0 – мінімальний радіус інерції поперечного перерізу зіркоподібних складених елементів на планках;

k – поправковий коефіцієнт для граничного значення опору поперечного перерізу нетто;

k_c – поправковий коефіцієнт для врахування розподілу моментів;

k_{ij} – коефіцієнти взаємодії (загальна символічна позначка для k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} та k_{zz});

k_{sw} – коефіцієнт посилення для врахування ефектів коливань другого порядку внаслідок вертикальних навантажень;

k_w – коефіцієнт взаємодії однорідних елементів за умов згину, осьового стиску та кручення, що охоплює ефект бімоменту;

k_{yy}, k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} – коефіцієнти взаємодії однорідних елементів за умов згину та осьового стиску;

k_{zw} – коефіцієнт взаємодії однорідних елементів за умов згину, осьового стиску та кручення, що охоплює ефект

згинального моменту відносно осі z-z;

k_α – коефіцієнт взаємодії однорідних елементів за умов згину, осьового стиску та кручення, що охоплює ефект згинального моменту відносно осі y-y;

k_σ – коефіцієнт втрати стійкості пластини;

k_0 – граничне значення для $\alpha_{cr,ns}$;

ℓ_y – ефективна довжина за умов опору поперечній силі;

m – кількість колон у ряду або елементів, які має бути закріплено;

n – відношення розрахункового значення поздовжньої сили до розрахункового значення опору в пластичній стадії до поздовжньої сили поперечного перерізу брутто;

n_p – кількість площин ґраток чи з'єднувальних планок;

n_y – відношення розрахункового значення поздовжньої сили до розрахункового значення опору втраті стійкості елемента за умов стиску в разі втрати стійкості відносно осі y-y;

n_z – відношення розрахункового значення поздовжньої сили до розрахункового значення опору втраті стійкості елемента за умов стиску в разі втрати стійкості відносно осі z-z;

n_1 – кількість отворів, розташованих по будь-якій діагональній чи зигзагоподібній лінії, що проходить через елемент або частину елемента;

n_2 – кількість отворів у профілі, якщо отвори розташовано не в шаховому порядку;

p_2 – відстань між центрами тих самих двох отворів, виміряна перпендикулярно до осі елемента;

q_d – еквівалентне розрахункове навантаження на одиницю довжини;

r – радіус шва сполучних поверхонь;

r_e – радіус зовнішнього кута порожнистого профілю з прямокутним перерізом;

r_1 – радіус кореня зварного шва;

r_2 – радіус, виміряний до кромки зовнішньої поверхні зварного шва;

s – крок у шаховому порядку, відстань між центрами двох послідовно розташованих отворів, виміряна паралельно осі елемента;

s_s – довжина жорсткої опорної частини;

t – товщина;

t_{cor} – товщина (матеріалу) серцевини (тобто номінальна товщина мінус товщина цинкового та інших металізованих покриттів);

t_d – розрахункове значення товщини;

t_f – товщина полиці;

t_{mc} – товщина металізованого покриття;

t_{nom} – номінальне значення товщини листа;

tol – мінусовий (у бік зменшення) допуск на товщину, в % від установленого в стандартах EN чи EN ISO, документах EAD чи ETA;

t_w – товщина стінки;

3.2.3 Грецькі літери верхнього регістру

ΔA_{net} – площа перерізу, яку потрібно відняти, щоб отримати величину перерізу з урахуванням отворів;

Δ_f – горизонтальне переміщення у верхній частині поверху внаслідок H_f відносно нижньої частини поверху;

ΔM_{Ed} – додатковий момент внаслідок зсуву центру ваги ефективної площі, A_{eff} , щодо центру ваги поперечного перерізу бруто;

$\Delta M_{y,\text{Ed}}$ – додатковий момент відносно осі у-у внаслідок зсуву центру ваги;

$\Delta M_{z,\text{Ed}}$ – додатковий момент відносно осі z-z внаслідок зсуву центру ваги;

Φ – значення для встановлення понижувального коефіцієнта χ в ситуації втрати стійкості;

Φ_{LT} – значення для встановлення понижувального коефіцієнта χ_{LT} в ситуації втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

3.2.4 Грецькі літери нижнього регістру

α – коефіцієнт для врахування недосконалості;

α_c – ділянка частини поперечного перерізу за стиску;

α_{cr} – коефіцієнт для збільшення розрахункового значення навантаження з таким розрахунком, щоб спричинити несталість у пружній стадії;

$\alpha_{\text{cr,ns}}$ – коефіцієнт для збільшення розрахункового значення навантаження з таким розрахунком, щоб досягти несталості у пружній стадії із втратою стійкості елемента в

площині чи з площини (без розхитування);

$\alpha_{cr,op}$ – мінімальна величина коефіцієнта посилення, застосовного до розрахункового значення навантаження в площині з таким розрахунком, щоб досягти критичного навантаження у пружній стадії із втратою стійкості за поперечно-згинальною чи поперечно-крутильною формами;

$\alpha_{cr,sw}$ – коефіцієнт для збільшення розрахункового значення навантаження з таким розрахунком, щоб досягти несталості в пружній стадії із втратою стійкості загальною та у площині (з розхитуванням)

α_h – коефіцієнт, застосовний для описування епюри моментів;
 h – від'ємний згинальний момент (*hogging*);

α_H – понижувальний коефіцієнт для висоти H , застосовний до колон;

α_{LT} – коефіцієнт для врахування недосконалості в разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

α_m – понижувальний коефіцієнт для врахування кількості колон у ряду чи елементів, які має бути закріплено;

α_R – ваговий коефіцієнт, пов'язаний з опором, для калібрування часткових коефіцієнтів;

α_s – коефіцієнт, застосовний для описування епюри моментів;
 s – додатний згинальний момент (*sagging*);

α_T – коефіцієнт лінійного теплового розширення;

α_{TF} – коефіцієнт для врахування недосконалості в разі втрати стійкості за згинально-крутильною формою;

$\alpha_{ult,k}$ – мінімальна величина коефіцієнта посилення, застосовного до розрахункового значення навантаження з таким

розрахунком, щоб досягти характеристичного значення опору найбільш критичного поперечного перерізу;

α_y – параметр для представлення ефекту двовісного згину;

α_z – параметр для представлення ефекту двовісного згину;

$\alpha_{\eta,m}$ – коефіцієнт недосконалості, α , застосовний до відповідної кривої втрати стійкості критичного поперечного перерізу m ;

β – стандартна відносна недосконалість викривлення;

β_c – поправковий коефіцієнт еквівалентної стиснутої полиці;

$\beta_{\text{ер},y}, \beta_{\text{ер},z}$ – коефіцієнт інтерполяції для врахування вигину відносно осі у-у та осі z-z, відповідно;

β_{LT} – стандартна відносна недосконалість викривлення в разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

γ_{Mi} – частковий коефіцієнт (загальна позначка);

γ_{M0} – частковий коефіцієнт для врахування опору поперечних перерізів;

γ_{M1} – частковий коефіцієнт для врахування опору втраті стійкості елементів, величину якого визначають під час розрахункового перевіряння елементів;

γ_{M2} – частковий коефіцієнт для врахування опору розриву поперечних перерізів за розтягу;

γ_{R} – частковий коефіцієнт для врахування конкретного опору;

δ_q – прогин в площині системи в'язей;

ε – параметр матеріалу залежно від f_y ;

ε_t – деформація розтягу;

η – коефіцієнт для площі зсуву;

$\eta_{cr}(x)$ – форма відповідної (першої чи вищої) втрати стійкості в пружній стадії за критичного навантаження;

η_i – коефіцієнт перетворення;

$\eta_{init}(x)$ – форма еквівалентної геометричної недосконалості;

θ – кут між осями поясу та з'єднувальної планки;

$\bar{\lambda}$ – умовна гнучкість;

$\bar{\lambda}_{c,z}$ – умовна гнучкість еквівалентної стиснутої полиці;

$\bar{\lambda}_{c,z,mod}$ – модифікована умовна гнучкість еквівалентної стиснутої полиці;

$\bar{\lambda}_m$ – умовна гнучкість, що стосується перерізу m ;

$\bar{\lambda}_{LT}$ – умовна гнучкість для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

$\bar{\lambda}_{LT,lim}$ – граничне значення умовної гнучкості для врахування схильності до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

$\bar{\lambda}_{LT,0}$ – довжина горизонтальної ділянки кривих втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

$\bar{\lambda}_{op}$ – загальна умовна гнучкість конструкційного елемента за втрати стійкості із площини;

$\bar{\lambda}_T$ – умовна гнучкість для врахування втрати стійкості за крутильною формою;

$\bar{\lambda}_{T,F}$ – умовна гнучкість для врахування втрати стійкості за крутильно-згинальною формою;

λ_1 – стандартна гнучкість для визначення умовної гнучкості;

μ – коефіцієнт ефективності для складених елементів;

ν – коефіцієнт Пуассона в сфері пружних деформацій;

ρ – понижувальний коефіцієнт для визначення зменшеного розрахункового значення опору за умов дії згинального моменту в пластичній стадії з урахуванням наявності поперечної сили;

σ – напруження;

$\sigma_{\text{com,Ed}}$ – максимальне розрахункове значення стискального поздовжнього напруження;

$\sigma_{\text{eq,Ed}}$ – розрахункове значення еквівалентного поздовжнього напруження;

$\sigma_{\text{w,Ed}}$ – розрахункове значення поздовжнього напруження внаслідок бімоменту B_{Ed} ;

$\sigma_{\text{x,Ed}}$ – розрахункове значення поздовжнього напруження;

$\sigma_{\text{z,Ed}}$ – розрахункове значення поперечного напруження;

τ_{Ed} – розрахункове значення зсувного напруження;

$\tau_{\text{t,Ed}}$ – розрахункове значення зсувного напруження внаслідок кручення за Сен-Венаном;

$\tau_{\text{w,Ed}}$ – розрахункове значення зсувного напруження внаслідок кручення через деформацію;

ϕ – початкова недосконалість, що спричиняє розхитування;

ϕ_0 – базове значення початкової недосконалості, що спричиняє розхитування;

χ – понижувальний коефіцієнт для врахування відповідної форми втрати стійкості;

χ_{LT} – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;

χ_{op} – понижувальний коефіцієнт для врахування умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{op}$;

χ_T – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за крутильною формою;

χ_{TF} – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за крутильно-згинальною формою;

χ_y – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за крутильною формою відносно осі y-y;

χ_z – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за крутильною формою відносно осі z-z;

ψ – відношення кінцевих моментів у відрізку балки, або коефіцієнт напруження;

3.3 Умовні позначки осей елементів

(1) Для осей елементів використовують такі умовні позначки:

x-x – поздовжня вісь елемента;

y-y – вісь поперечного перерізу;

z-z – вісь поперечного перерізу.

(2) Для сталевих елементів використовують такі умовні позначки осей поперечного перерізу:

– загалом:

y-y – вісь поперечного перерізу, паралельна полицям;

z-z – вісь поперечного перерізу, перпендикулярна до полиць.

– для перерізів кутиків:

y-y – вісь перерізу, паралельна меншій полиці (меншому катету);

$z-z$ – вісь перерізу, перпендикулярна до меншої полиці (меншого катета).

– за потреби:

$u-u$ – велика головна вісь (якщо вона не збігається з віссю $y-y$);

$v-v$ – мала головна вісь (якщо вона не збігається з віссю $z-z$)

(3) Позначки розмірів та осей, використовувані для сталевих прокатів, наведено на рисунку 3.1.

(4) Умовні позначки нижніх індексів, що вказують на осі моментів, використовують за таким принципом: «Використовують вісь, відносно якої діє момент».

Примітка. Усі правила в EN 1993 стосуються характеристик відносно головних осей, що зазвичай визначають за осями $y-y$ та $z-z$, але характеристики таких перерізів, як кутики, визначають за осями $u-u$ та $v-v$.

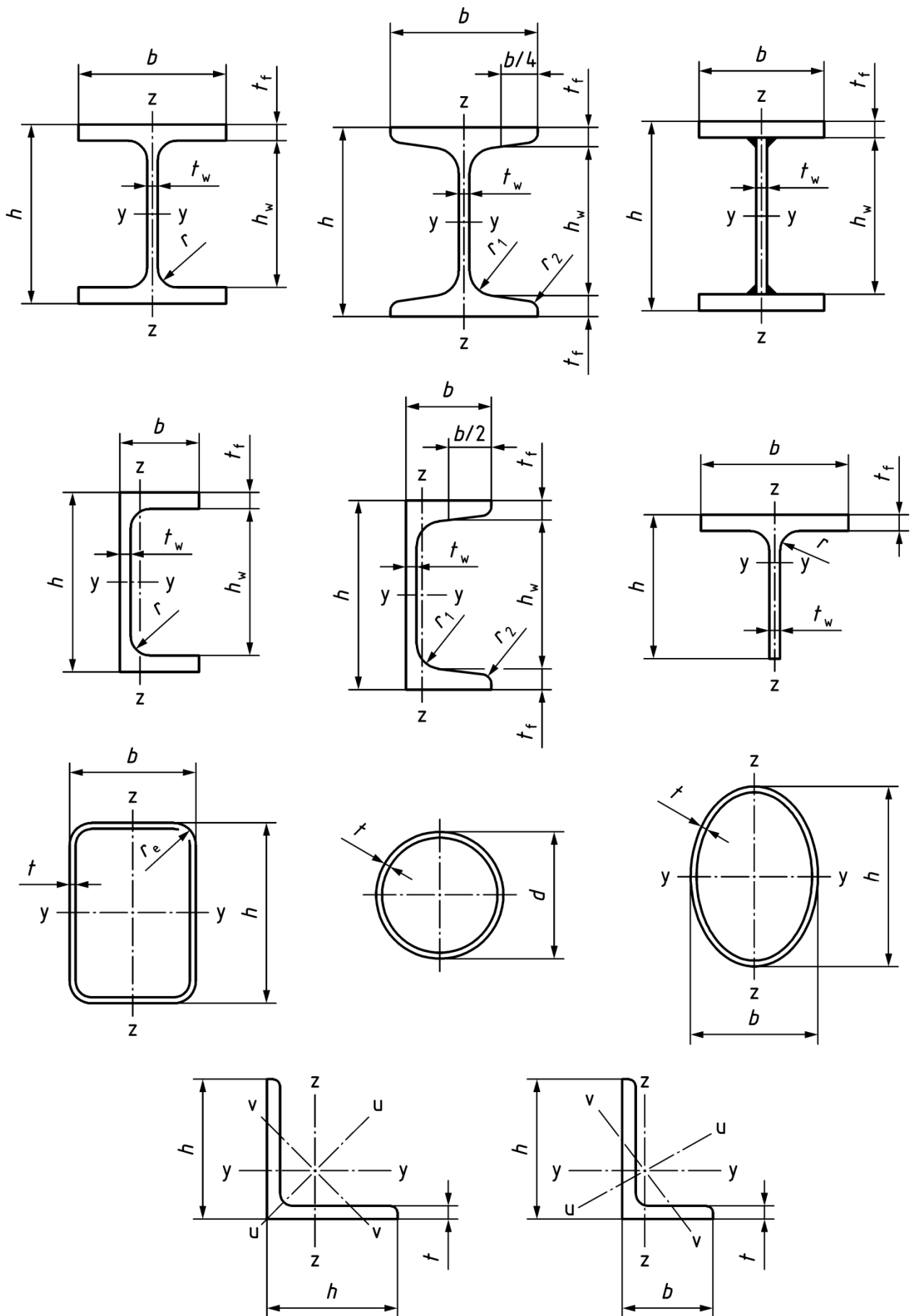


Рисунок 3.1 – Розміри та осі перерізів

4 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ

4.1 Загальні правила

4.1.1 Основні вимоги

(1) Проєктування сталевих конструкцій має відповідати загальним правилам, викладеним в EN 1990 та EN 1991 (усі частини), а також конкретним положенням щодо проєктування сталевих конструкцій, наведеним у відповідних частинах EN 1993-1 (усі частини).

(2) Потрібно, щоб сталеві конструкції, запроєктовані згідно з EN 1993, було виконано згідно з EN 1090-2 та/або EN 1090-4 за використання будівельних матеріалів та виробів, як зазначено у застосовних частинах EN 1993 або у відповідних специфікаціях на матеріали та вироби.

4.1.2 Конструкційна надійність

(1) Для досягнення потрібного рівня конструкційної надійності зведених споруд, установленого в EN 1990, для сталевих конструкцій, виконуваних згідно з EN 1090-2 та EN 1090-4, має бути обрано відповідний клас виконання згідно з додатком А цього стандарту.

(2) Якщо потрібно забезпечити різні рівні конструкційної надійності, їх досягають обиранням відповідних заходів з управління якістю процесів проєктування та виконання конструкцій згідно з EN 1990, EN 1090-2 та EN 1090-4.

4.1.3 Живучість

(1) Рекомендовано дотримуватися положень щодо живучості, викладених у 4.4 EN 1990.

(2) Загальну схему розташування конструкції, а також взаємодію та з'єднання її різних частин обирають із таким розрахунком, щоб

забезпечити їх відповідну живучість під час будівництва та експлуатації.

4.1.4 Розрахунковий строк експлуатації будівель

(1)В Для визначення передбаченого розрахункового строку експлуатації постійної будівлі (капітальної споруди) рекомендовано дотримуватися положень, викладених в EN 1990.

(2)В Стосовно конструкційних елементів, які не може бути запроєктовано на загальний розрахунковий строк експлуатації будівлі (наприклад, компоненти, що потребують заміни, такі як опорні частини), див. пункт 6(5).

4.1.5 Довговічність

(1) Залежно від типу дій, які впливають на розрахунковий строк експлуатації (див. EN 1990), потрібно, щоб сталеві конструкції було запроєктовано:

- з урахуванням ефектів корозії;
- з урахуванням ефектів втоми згідно з розділом 10 (цього стандарту) та EN 1993-1-9;
- з урахуванням стійкості щодо крихкого руйнування згідно з EN 1993-1-10;
- з урахуванням ефектів старіння;
- з урахуванням аварійних дій (див. EN 1991-1-7);
- за дотримання вимог щодо нагляду за технічним станом і технічного обслуговування.

(2) Захист від корозії можна забезпечити за допомогою:

- відповідної системи захисту поверхні згідно з EN ISO 12944 (усі частини), EN ISO 1461;
- використання зносостійкої сталі (див. EN 10025-5);

– використання нержавкої сталі згідно з EN 1993-1-4.

(3) Інші аспекти довговічності розглядають, дотримуючись положень розділу 6.

4.2 Принципи розрахунку за граничними станами

(1) Щодо сталевих конструкцій граничний стан за несною здатністю та граничний стан експлуатаційної придатності має бути враховано для всіх аспектів конструкції.

(2) Щодо сталевих конструкцій має бути розглянуто всі застосовні розрахункові ситуації, включно з відповідними фазами на етапі монтажу.

Примітка. Щодо обирання розрахункових ситуацій див. EN 1990.

4.3 Базові змінні

4.3.1 Дії та впливи довкілля

(1) Для проектування сталевих конструкцій характеристичні значення дій, включно з будь-якими специфічними для регіону, а також кліматичними та аварійними ситуаціями, має бути прийнято з відповідних частин EN 1991.

(2) Дії, які має бути враховано на етапі монтажу, можна прийняти згідно з EN 1991-1-6.

(3) За потреби врахування ефектів від прогнозованої абсолютної та нерівномірної осадки використовують результати оцінювання прикладених деформацій.

(4) Ефекти нерівномірної осадки, прикладених деформацій та форм попереднього напруження, застосовуваних під час монтажу, враховують, використовуючи номінальне значення дії попереднього напруження, P_k , як постійної дії, та групують її з іншими постійними діями, G_k , формуючи об'єднану дію $(G_k + P_k)$.

Примітка. Додаткову інформацію щодо комбінацій навантажень див. в EN 1990, а щодо попереднього напруження – в EN 1993-1-11.

(5) Втомлювальні дії, які не визначено в EN 1991 (усі частини), визначають згідно з розділом 8 EN 1990, а ефекти втомлювальних дій – згідно з EN 1993-1-9.

4.3.2 Властивості матеріалів, геометричні характеристики та властивості виробів

(1) Властивості матеріалів, застосовні до конструкційних сталей та іншої будівельної продукції, а також геометричні характеристики, які має бути використано для проєктування, визначають згідно з тими, що зазначено в застосовних до продукції стандартах EN та EN ISO, або згідно з результатами чіткого та відтворюваного оцінювання, що відповідає всім вимогам Європейського оцінювального документа (*European Assessment Document; EAD*) або Європейської технічної оцінки (*European Technical Assessment; ETA*), якщо не вказано іншого, див. розділ 5.

(2) У проєктних розрахунках номінальні значення властивостей матеріалу приймають як характеристичні значення.

(3) Для конструкційного розрахунку та проєктування можна використовувати номінальні значення розмірів.

Примітка. Див. 6.3(1) EN 1990.

4.4 Перевіряння за допомогою метода часткових коефіцієнтів

4.4.1 Розрахункові значення дій

(1) Для проєктування сталевих конструкцій комбінацію дій та часткові коефіцієнти дій має бути прийнято згідно з додатком А EN 1990.

4.4.2 Розрахункові значення властивостей матеріалів

(1) Для проєктування сталевих конструкцій розрахункове значення властивості матеріалу має бути отримано способом ділення його характеристичного значення, X_k , або номінального значення, X_n , на відповідний частковий коефіцієнт за матеріалом, γ_m .

Примітка. Зазвичай частковий коефіцієнт чітко зазначають у нормах проєктування.

4.4.3 Розрахункові значення геометричних характеристик

(1) Геометричні характеристики поперечних перерізів та систем можна отримати із застосовних до продукції стандартів EN та EN ISO, документів EAD, ETA або специфікацій на компоненти для виконання конструкцій згідно з EN 1090 (усі частини) та використовувати їх як номінальні значення.

(2) Розміри гарячекатаних профілів можна отримати з EN 10365.

Примітка. У стандарті EN 10365 не зазначено радіус заокруглення. Однак його можна розрахувати за площею перерізу та іншими розмірами, якщо в Національному додатку не наведено іншого.

(3) Розрахункові значення геометричних недосконалостей, зазначені в цьому стандарті, є еквівалентними геометричними недосконалостями, за допомогою яких враховують ефекти від:

- геометричних недосконалостей, що залежать від допусків на геометричні характеристики, визначених згідно зі стандартами на продукцію або на виконання конструкцій;

- недосконалостей конструкції, що виникли в процесі виготовлення та монтажу;

- залишкових напружень;

- варіацій границі текучості.

(4) Правила проєктування не застосовують до сталей з номінальною товщиною матеріалу, t , менше 3 мм, за винятком ситуацій, зазначених у (5).

(5) Правила проєктування можна застосовувати до компонентів, виготовлених зі сталі з номінальною товщиною матеріалу, t , меншою ніж 3 мм, але такою, що більша чи дорівнює 1,5 мм, якщо розрахункову товщину, t_d , яка ґрунтується на значенні товщини основного сталевого матеріалу, t_{cor} , використовуватимуть замість номінальної товщини, t , дотримуючись зазначених нижче умов:

$$t_d = t_{cor}, \text{ якщо } tol \leq 5 \% ; \quad (4.1)$$

$$t_d = t_{cor} \frac{100 - tol}{95}, \text{ якщо } tol > 5 \% , \quad (4.2)$$

де

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{mc} ;$$

tol – мінусовий (у бік зменшення) допуск на товщину, в % від установленого у відповідних стандартах EN чи EN ISO, документах EAD чи ETA;

t_{nom} – номінальна товщина листа вихідного листового матеріалу, включно з цинковим та іншим металізованим покриттям, але без урахування органічного покриття;

t_{mc} – товщина металізованого покриття.

4.4.4 Допуски

(1) Допуски на розміри та масу сталевих прокатних профілів, конструкційних порожнистих профілів та листів визначають згідно із застосовним до продукції стандартом EN чи EN ISO, документом EAD чи ETA, якщо суворіших допусків не визначено компетентним органом влади чи не узгоджено для конкретного проєкту відповідними сторонами-учасниками.

(2) Допуски на виготовлення та монтаж конструкційних компонентів визначають згідно зі стандартами EN 1090-2 та EN 1090-4.

4.4.5 Розрахункові значення опору

(1) Для сталевих конструкцій застосовують формулу (8.20) стандарту EN 1990 у вигляді:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R\{X_{rep}; a_d; \Sigma F_{Ed}\}}{\gamma_R}, \quad (4.3)$$

де

F_{Ed} – позначка для розрахункових значень дій, див. 4.4.1;

$R\{\dots\}$ – позначка для вихідних даних моделі опору;

R_k – характеристичне значення конкретного опору;

X_{rep} – позначка для репрезентативних значень властивостей матеріалу, визначуваних як ηX_k . Якщо в конкретних нормах проектування не зазначено іншого, то використовують номінальні значення властивостей матеріалу, які визначено в 5.2.1;

a_d – позначка для розрахункових значень геометричних властивостей, див. 4.4.3;

γ_R – частковий коефіцієнт для конкретного опору. Нижче у цьому стандарті для γ_R прийнято значення відповідного часткового коефіцієнта γ_{Mi} , див. 8.1.

4.5 Розрахунок, заснований на результатах випробування

(1) Значення опору, R_k або R_d , можна визначити, використовуючи методи випробування.

Примітка. Рекомендації щодо розрахунку, заснованого на результатах випробувань, наведено в додатку D EN 1990. Більш конкретизовані положення може бути наведено в інших частинах EN 1993.

5 МАТЕРІАЛИ

5.1 Загальні положення

(1) Для проєктування сталевих конструкцій згідно з цим стандартом матеріал для виготовлення обирають відповідно до класів, зазначених у таблицях 5.1 та 5.2, а також таким стандартам на продукцію: EN 10025 (усі частини), EN 10149 (усі частини), EN 10210 (усі частини) та EN 10219 (усі частини).

Примітка. У Національному додатку може бути зазначено інші матеріали та вироби зі сталі.

(2) Якщо використовують інші сталеві матеріали, крім зазначених в (1), то потрібно, щоб їхні властивості (механічні властивості та зварюваність) були відомими, а механічні властивості задовольняли наведені в 5.2.2, 5.2.3 та 5.2.4 умови, установлені для випробування згідно із застосовними стандартами EN, ISO або EN ISO.

5.2 Конструкційна сталь

5.2.1 Властивості матеріалів

(1) Номінальні значення границі текучості, f_y , та границі міцності за розтягу, f_u , для конструкційної сталі отримують одним із наведених нижче способів:

а) приймаючи значення $f_y = R_{eH}$ та $f_u = R_m$ (як нижнє граничне значення заданого діапазону) безпосередньо зі стандарту на продукцію;

б) або використовуючи значення, наведені в таблиці 5.1 для сталі, що відповідає вимогам EN 10025 (усі частини), EN 10210 (усі частини) та EN 10219 (усі частини), а також у таблиці 5.2 для сталі, що відповідає вимогам EN 10149 (усі частини), враховуючи також наявний матеріал завтовшки в межах діапазону значень згідно зі стандартом на продукцію.

Примітка 1. У Національному додатку може бути встановлено обраний підхід стосовно врахування ефектів, часткових коефіцієнтів та їх калібрування згідно з додатком Е та EN 1990. У разі застосування варіанту b) частковий коефіцієнт γ_{M1} потрібно збільшити.

Примітка 2. Правила використання сталей згідно з таблицями 5.1 та 5.2 може бути встановлено в Національному додатку.

Таблиця 5.1 – Номінальні значення границі текучості, f_y , та границі міцності за розтягу, f_u , для конструкційних сталей, що відповідають стандартам: EN 10025 (усі частини), EN 10210 (усі частини) та EN 10219 (усі частини)

Марка сталі ^a	Номінальна товщина елемента, t , мм			
	$t \leq 40$ мм		$40 \text{ мм} < t \leq 80$ мм	
	f_y Н/мм ²	f_u Н/мм ²	f_y Н/мм ²	f_u Н/мм ²
S235	235	360	215	360
S275	275	390	245	370
S355	355	490	325	470
S420	420	510	390	490
S460	460	540	410	510
S500	500	580	450	580
S550	550	600	500	600
S600	600	650	550	650
S620	620	700	560	660
S650	650	700	–	–
S690	690	770	630	710
S700	700	750	–	–
^a Основні символічні позначки наведено згідно з EN 10027-1.				

Таблиця 5.2 – Номінальні значення границі текучості, f_y , та границі міцності за розтягу, f_u , для виробів плоских гарячекатаних для холодного формування згідно з EN 10149-2 та EN 10149-3

Стандарти, марки та сорти	Номінальна товщина елемента, t , мм			
	$t \leq 8$ мм		8 мм < $t \leq 20$ мм	
	f_y Н/мм ²	f_u Н/мм ²	f_y Н/мм ²	f_u Н/мм ²
EN 10149-2^a				
S315MC	315	390	315	390
S355MC	355	430	355	430
S420MC	420	480	420	480
S460MC	460	520	460	520
S500MC	500	550	500 ^b	550 ^b
S550MC	550	600	550 ^b	600 ^b
S600MC	600	650	600 ^b	650 ^b
S650MC	650	700	630 ^b	700 ^b
S700MC	700	750	680 ^b	750 ^b
EN 10149-3^a				
S260NC	260	370	260	370
S315NC	315	430	315	430
S355NC	355	470	355	470
S420NC	420	530	420	530
^a Енергію удару визначають перевірянням за варіантом 5 згідно з пунктом 11 EN 10149-1:2013.				
^b $t \leq 16$ мм				

5.2.2 Вимоги щодо пластичності

(1) Потрібно забезпечити мінімальну пластичність, яку має бути виражено через граничні значення:

– відношення f_u/f_y ;

– відносного видовження за відмови на позначеній довжині випробовуваного на розтяг зразка $5,65\sqrt{A_0}$ (де A_0 – початкова площа поперечного перерізу).

Примітка. Якщо в Національному додатку не вказано іншого, застосовують наведені нижче граничні значення.

а) Для загального пластичного розрахунку:

$$- f_u / f_y \geq 1,10;$$

– видовження в момент відмови щонайменше 15 %.

б) Для загального пружного розрахунку:

$$- f_u / f_y \geq 1,05;$$

– видовження в момент відмови щонайменше 12 %.

(2) Сталі, що відповідають вимогам, установленим для будь-якої з марок, перелік яких зазначено у таблицях 5.1 та 5.2, можна вважати такими, що задовольняють мінімальні вимоги щодо пластичності для загального пружного розрахунку.

(3) Сталі, що відповідають вимогам, установленим для одного з класів до S460 включно, перелік яких зазначено у таблицях 5.1 та 5.2, можна вважати такими, що задовольняють мінімальні вимоги щодо пластичності для загального пластичного розрахунку.

5.2.3 Тріщиностійкість

(1) Потрібно, щоб матеріал мав достатню тріщиностійкість, щоб запобігти крихкому руйнуванню елементів протягом передбаченого розрахункового строку експлуатації конструкції. Перевіряння тріщиностійкості потрібно за будь-яких умов навантаження.

Примітка. Стосовно сталей, призначених для цинкування методом занурення у гарячий розплав, див. EN ISO 1461.

(2) Подальше перевіряння на крихке руйнування можна не виконувати, якщо задоволено умови, наведені в EN 1993-1-10.

5.2.4 Властивості за товщиною прокату

(1) Задані властивості матеріалу за товщиною прокату визначають обчисленням потрібного розрахункового значення Z , Z_{Ed} матеріалу згідно з EN 1993-1-10.

(2) Якщо потрібен матеріал з удосконаленими властивостями за товщиною прокату ($Z_{Ed} > 10$), то обирають матеріал класу якості згідно з EN 10164, тобто Z 15, Z 25 або Z 35.

(3) Клас якості матеріалу обирають згідно з таблицею 5.3.

Примітка. Властивості за товщиною прокату є застосовними до пластин, навантажуваних перпендикулярно до їх площини, наприклад, у разі зварних з'єднань балки з колоною та зварних торцевих пластин (фланців), що працюють на розтяг у напрямку товщини.

Таблиця 5.3 – Обирання класу якості згідно з EN 10164

Задане розрахункове значення, Z_{Ed} , згідно з EN 1993-1-10	Клас якості згідно з EN 10164 (наявне розрахункове значення Z , Z_{Rd})
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

5.2.5 Значення інших властивостей матеріалу

(1) Властивості матеріалу, які має бути прийнято в розрахунках, застосовують у вигляді наведених нижче середніх значень для сталі:

- модуль пружності $E = 210\,000 \text{ Н/мм}^2$;
- модуль зсуву $G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000 \text{ Н/мм}^2$;
- коефіцієнт Пуассона в сфері пружних деформацій $\nu = 0,3$;
- коефіцієнт лінійного теплового розширення

$$\alpha_T = 12 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1} \text{ (для } T \leq 100 \text{ °C)}.$$

2) Параметр матеріалу, ε , використовують у кількох виразах у EN 1993 (усі частини). Його визначають так:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \quad (5.1)$$

де f_y – границя текучості в Н/мм².

5.3 Засоби з'єднання

(1) До кріпильних виробів та зварювальних матеріалів застосовують положення, наведені в EN 1993-1-8.

5.4 Інші вироби заводського виготовлення для будівель

(1)В Будь-які заготовки чи готові будівельні вироби, використовувані для проєктування конструкцій будівель, мають відповідати застосовному стандарту на продукцію EN чи EN ISO, документу EAD чи ETA.

6 ДОВГОВІЧНІСТЬ

(1) Ефекти деградації характеристик матеріалу, корозії, механічного зношування чи втоми, якщо застосовно, має бути враховано обиранням відповідної системи протикорозійного захисту поверхонь, відповідного матеріалу (див. EN 1993-1-4, EN 1993 -1-10) та відповідного деталювання (див. EN 1993-1-9) чи забезпеченням конструктивного запасу.

(2) Виконання обробки для захисту поверхонь має відповідати EN 1090-2.

Примітка. В EN 1090-2 наведено перелік чинників, які впливають на виконання конструкцій та які потрібно визначити під час проєктування.

(3) Деталі, чутливі до корозії, механічного зношування чи втоми, проєктують із таким розрахунком, щоб уможливити задовільний рівень виконання заходів із нагляду за технічним станом, технічного

обслуговування та ремонтування, а також забезпечити можливість доступу для нагляду за технічним станом та технічного обслуговування під час експлуатації.

(4) Для елементів, технічний стан яких перевірити не можливо, враховують відповідний допуск на корозію.

(5) Якщо конструкція містить компоненти, які потребують замінювання (наприклад, опорні частини), то можливість їх безпечного замінювання перевіряють як перехідну розрахункову ситуацію.

(6)В Протикорозійне захисне покриття не потрібно наносити на внутрішні будівельні конструкції у разі категорії корозійної активності середовища С1 згідно з EN ISO 12944-2:2017.

7 КОНСТРУКЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Моделювання конструкції для розрахунку

7.1.1 Основні припущення

(1) Розрахунок має ґрунтуватися на розрахункових моделях конструкції, які відповідають граничному стану, що розглядають. Метод, використовуваний для розрахунку, має відповідати розрахунковим припущенням. У цьому разі застосовують положення 7.1.1 EN 1990.

7.1.2 Моделювання вузлів

(1) Якщо ефекти від роботи вузлів суттєво впливають на розподіл внутрішніх зусиль та моментів у конструкції та на її деформації загалом (наприклад, у разі напівжорстких вузлів), то їх враховують згідно з EN 1993-1-8.

(2) Для визначення потреби введення до розрахунку ефектів роботи вузла «момент-повертання» можна окремо розглянути наведені нижче три моделі вузлів:

– шарнірні вузли, щодо яких можна припустити, що вони не перерозподіляють згинальні моменти;

– жорсткі вузли, щодо яких можна припустити, що вони не уможливають жодного відносного повороту між з'єднаними елементами, і, відтак, робота вузла не впливає на результати розрахунку;

– напівжорсткі вузли, щодо яких можна припустити, що вони уможливають відносно повертання та перерозподіл згинального моменту між з'єднаними елементами, і, відтак, роботу вузла потрібно увести до розрахунку.

(3) До різних типів вузлів застосовують положення, наведені в EN 1993-1-8.

7.2 Загальний розрахунок

7.2.1 Врахування ефектів другого порядку

(1) Внутрішні зусилля та моменти, зазвичай, можна визначити за допомогою:

– розрахунку згідно з теорією першого порядку, використовуючи геометричну форму конструкції в недеформованому стані, або

– розрахунку згідно з теорією другого порядку, враховуючи вплив деформації конструкції.

(2) Ефекти, спричинені геометричною формою конструкції в деформованому стані (ефекти другого порядку), враховують, якщо вони суттєво посилюють ефекти дій чи призводять до суттєвих змін у роботі конструкції.

(3) Розрахунок згідно з теорією другого порядку не потрібний, якщо задоволено критерії, обумовлені у формулах (7.1) та (7.2).

(4) Якщо обумовленого у формулі (7.1) критерію дотримано, то ефекти другого порядку, спричинені втратою стійкості елемента в площині чи із площини (без розхитування), в загальному розрахунку можна не враховувати.

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} \geq k_0, \quad (7.1)$$

де

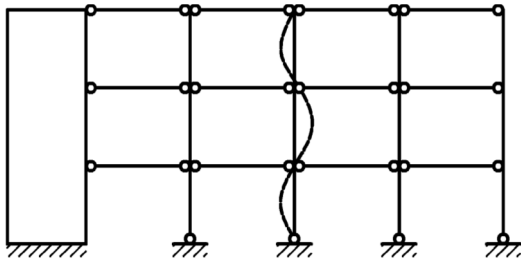
$F_{cr,ns}$ – мінімальне критичне навантаження в пружній стадії у разі втрати стійкості за згинальною формою, застосовне в ситуації втрати стійкості елемента в площині чи із площини без розхитування. Крутильну, крутильно-згинальну та поперечно-крутильну форми втрати стійкості не враховують;

F_d – розрахункове значення навантаження на конструкцію;

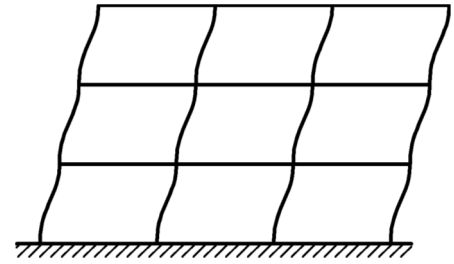
$\alpha_{cr,ns}$ – коефіцієнт для збільшення розрахункового значення навантаження з таким розрахунком, щоб досягти несталості у пружній стадії із втратою стійкості елемента у площині чи із площини (без розхитування).

Примітка 1. Значення k_0 приймають таке, що дорівнює 25, якщо в Національному додатку не вказано іншого значення.

Примітка 2. Стосовно каркасів, форми втрати стійкості може бути класифіковано за ознакою «із розхитуванням» чи «без розхитування», див. рисунок 7.1. Форми розхитування визначають за суттєвими відносними переміщеннями кінців елемента у перпендикулярному напрямку порівняно з геометричною формою елемента в недеформованому стані.



(a) Форма втрати стійкості елемента без розхитування



(b) Форма загальної втрати стійкості з розхитуванням

Рисунок 7.1 – Форми втрати стійкості карасів

Примітка 3. Щодо застосовності обумовленого у формулі (7.1) критерію до пластичного розрахунку див. 7.4.3.

(5) Якщо задоволено критерій, обумовлений у формулі (7.2), то ефекти другого порядку, спричинені втратою стійкості в площині із розхитуванням, можна не враховувати під час загального розрахунку, а розрахунок згідно з теорією першого порядку можна використати для визначення згинальних моментів щодо розхитування в площині.

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{F_{cr,sw}}{F_d} \geq 10, \quad (7.2)$$

де

$F_{cr,sw}$ – мінімальне критичне навантаження в пружній стадії, що спричиняє втрату стійкості за згинальною формою з вигином у площині у разі загальної втрати стійкості з розхитуванням;

F_d – розрахункове значення навантаження на конструкцію;

$\alpha_{cr,sw}$ – коефіцієнт для збільшення розрахункового значення навантаження з таким розрахунком, щоб досягти нестлості в пружній стадії із загальною втратою стійкості та вигином у площині (з розхитуванням).

Примітка 1. Якщо обумовлений у формулі (7.2) критерій задоволено, то збільшення внутрішніх зусиль і моментів, спричинене ефектом розхитування

другого порядку, становить щонайбільше 10 % від внутрішніх зусиль і моментів першого порядку.

Примітка 2. Щодо застосовності обумовленого у формулі (7.2) критерію до пластичного розрахунку див. 7.4.3.

(6) Ефекти другого порядку, спричинені втратою стійкості за поперечно-крутильною формою, під час загального розрахунку та перевірочних розрахунків у зазначених нижче ситуаціях можна не враховувати:

- щодо певних типів профілів, наприклад, конструкційних порожнистих профілів та еквівалентних зварних коробчастих профілів;

- якщо на елементи з моносиметричними чи подвійно-симетричними перерізами згинальні моменти діють лише в напрямку слабкої осі;

- у разі достатнього закріплення стиснутої полиці, див. додаток D;

- якщо не перевищено граничне значення гнучкості, що уможливорює втрату стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з 8.3.2.3(1).

(7) Ефекти запізнення зсуву та втрати стійкості пластини враховують стосовно жорсткості, якщо вони суттєво впливають на результати загального розрахунку, див. EN 1993-1-5.

(8) У разі прокатних та зварних профілів з однаковими розмірами ефекти запізнення зсуву та втрати стійкості пластини, що впливають на жорсткість, можна не враховувати.

(9) Ефекти проковзування в болтових отворах та наслідки подібних деформацій засобів з'єднання, таких як шпильки та анкерні болти, враховують, якщо вони суттєво впливають на результати загального розрахунку.

(10)В Портальні рами з ухилами кроквяних ригелів, не крутішими за 1:2 (26°), та пласкі каркаси багатопверхових будівель рамного типу можна перевірити на відмову в площині та загальну втрату стійкості (з розхитуванням) за допомогою розрахунку згідно з теорією першого порядку, якщо для кожного поверху буде дотримано відповідності обумовленому у формулі (7.2) критерію. Величину $\alpha_{cr,sw}$ стосовно поверху можна обчислити за допомогою формули (7.3), див. рисунок 7.2, за умови, що осьовий стиск у балках або кроквяних ригелях є несуттєвим (див. також (11)):

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{K_{st} H_{st}}{\sum N_{Ed,i}}, \quad (7.3)$$

де

K_{st} – поперечна жорсткість конструкції поверху. Це значення можна обчислити за допомогою лінійно-пружного розрахунку, використовуючи формулу (7.4):

$$K_{st} = \frac{H_f}{\Delta_f} \quad (7.4)$$

H_f – фіктивна горизонтальна сила, прикладена до верхньої частини колон поверху;

Δ_f – горизонтальне переміщення у верхній частині поверху внаслідок H_f відносно нижньої частини поверху;

$\sum N_{Ed,i}$ – сума поздовжніх зусиль у колонах поверху, який розглядають;

H_{st} – висота поверху.

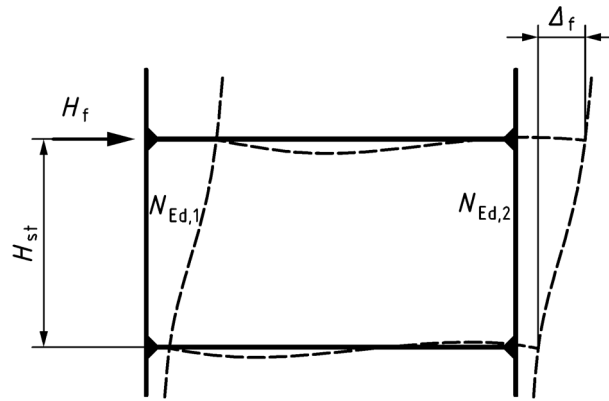


Рисунок 7.2 – Позначення, застосовні в 7.2.1(10)В

(11) У разі застосування положення (10)В осьовий стиск у балках або кроквяних ригелях вважають суттєвим за умови:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \geq 0,1, \quad (7.5)$$

де

N_{Ed} – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили;

N_{cr} – критичне навантаження у пружній стадії за втрати стійкості у площині балки або кроквяного ригеля, розглядуваних як шарнірно обперті на кінцях, за геометричної довжини, вимірюваної вздовж балки або кроквяного ригеля.

7.2.2 Методи розрахунку для перевірення відповідності вимогам щодо граничних станів за несною здатністю

(1) Метод розрахунку (розрахунок згідно з теорією першого чи другого порядку за поєднання з розглядом недосконалостей) обирають з огляду на його сумісність із вимогами, установленними в 8.2 та 8.3 для перевірення поперечного перерізу та елементів.

(2) Відповідно до типу конструкції та обсягу загального розрахунку, недосконалості та ефекти другого порядку розглядають, використовуючи один із наведених нижче підходів:

а) повністю в загальному розрахунку;

b) частково в загальному розрахунку та частково перевірнянням опору втраті стійкості окремих елементів згідно з 8.3;

c) перевірнянням опору втраті стійкості «еквівалентних елементів» згідно з 8.3, використовуючи відповідні значення розрахункової довжини відповідно до форм загальної втрати стійкості конструкції.

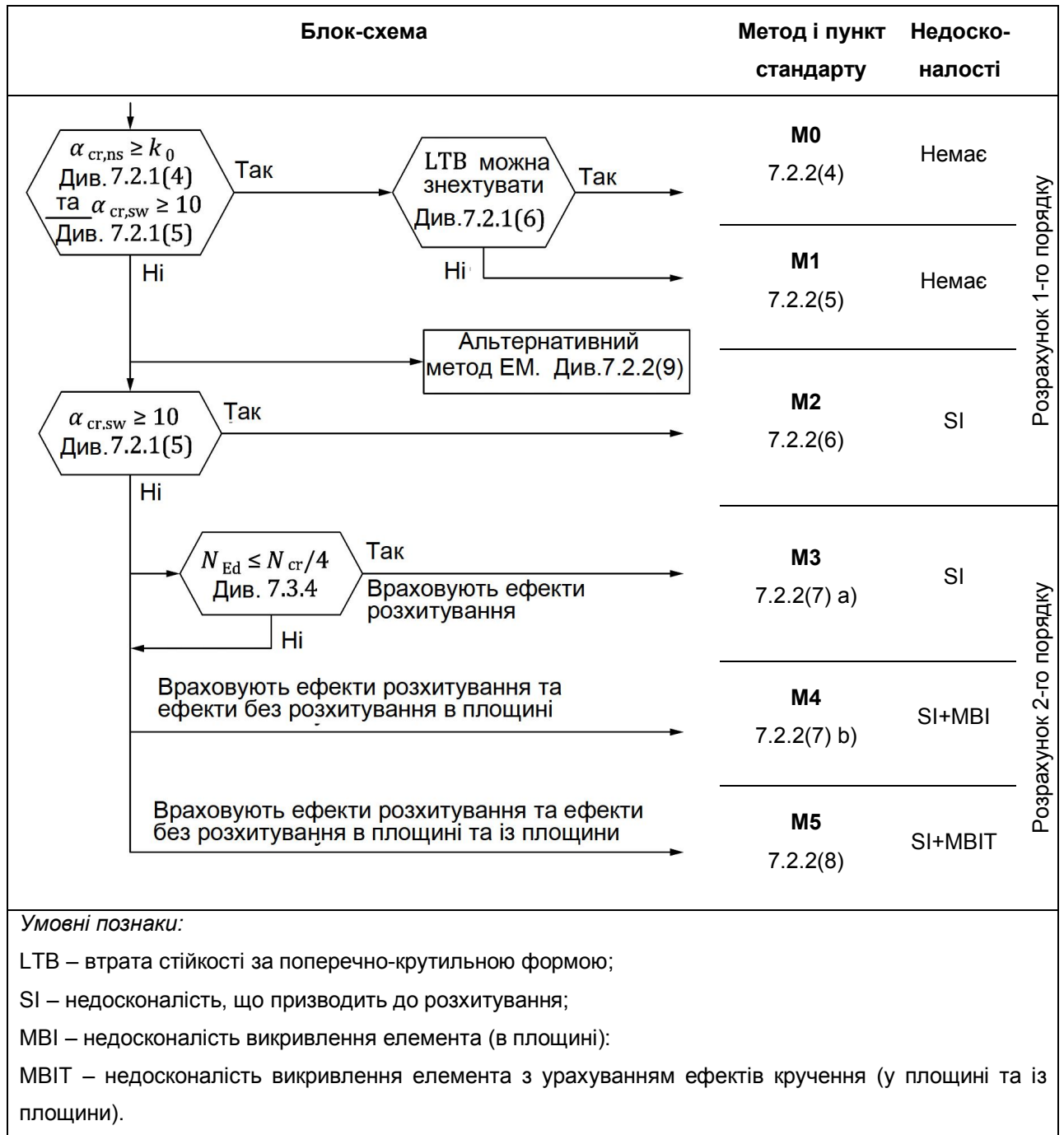
Примітка 1. Щодо втрати стійкості за крутильною та крутильно-згинальною формами див. 8.3.1.4.

Примітка 2. Формули, застосовні в разі критичної втрати стійкості в пружній стадії, наведено prCEN/TR 1993-1-103³ Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-103: Elastic critical buckling of members.

(3) Перевірняння конструкції в граничному стані за несною здатністю можна проводити, використовуючи методи розрахунку, зазначені в цьому стандарті як M0, M1, M2, M3, M4, M5 або EM, з урахуванням обмежень щодо їх застосування, які визначено в підпунктах від (4) до (9); загальний огляд застосовності цих методів див. на рисунку 7.3. Складніші методи можна використовувати замість менш складних методів.

Примітка. Методи M0, M1, M2, M3, M4 та M5 позначено номерами, порядок яких відповідає збільшенню складності розрахунку. Метод M0 є найменш складним, а метод M5 – найскладнішим.

³ На розгляді



Умовні позначки

LTV – втрата стійкості за поперечно-крутильною формою;

ЕМ – метод еквівалентного елемента;

SI – недосконалість, що призводить до розхитування;

MBI – недосконалість викривлення елемента (в площині);

MBIT – недосконалість викривлення елемента з урахуванням втрати стійкості за поперечно-крутильною формою (у площині та із площини)

Рисунок 7.3 – Методи розрахунку, застосовні для перевіряння відповідності вимогам щодо граничних станів за несною здатністю

(4) Метод M0

Якщо ефектами другого порядку в загальному розрахунку можна знехтувати, задовольняючи умови, зазначені в 7.2.1(4) та 7.2.1(5), а втрату стійкості за поперечно-крутильною формою можна не враховувати згідно з 7.2.1(6), то:

- внутрішні зусилля та моменти можна визначити за допомогою загального розрахунку згідно з теорією першого порядку;
- в загальний розрахунок уводити недосконалості не потрібно;
- перевіряння опору поперечного перерізу виконують згідно з 8.2;
- перевіряння опору втраті стійкості окремих елементів згідно з 8.3 можна не виконувати.

(5) Метод M1

Якщо ефектами другого порядку в загальному розрахунку можна знехтувати, задовольняючи умови, зазначені в 7.2.1(4) та 7.2.1(5), але не можна знехтувати втратою стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з 7.2.1(6), то:

- внутрішні зусилля та моменти можна визначити за допомогою загального розрахунку згідно з теорією першого порядку;
- в загальний розрахунок уводити недосконалості не потрібно;
- перевіряння опору поперечного перерізу виконують згідно з 8.2;
- потрібно виконати перевіряння опору втраті стійкості із площини окремого елемента згідно з 8.3.

(6) Метод M2

Якщо ефектами другого порядку, спричиненими втратою стійкості елемента, знехтувати не можна (тобто умову, зазначену в 7.2.1(4), не задоволено), але можна знехтувати ефектами другого порядку, спричиненими втратою стійкості в площині, загальною втратою

стійкості (із розхитуванням) (тобто умову, зазначену в 7.2.1(5), задоволено), то:

- внутрішні зусилля та моменти можна визначити за допомогою загального розрахунку згідно з теорією першого порядку;

- у загальному розрахунку можна не враховувати еквівалентні недосконалості викривлення, але рекомендовано враховувати загальні недосконалості (пов'язані з розхитуванням);

- перевіряння опору поперечного перерізу виконують згідно з 8.2;

- потрібно виконати перевіряння опору втраті стійкості в площині та із площини окремих елементів згідно з 8.3 з урахуванням відповідних значень розрахункової довжини за втрати стійкості без розхитування та відповідних епюр згинальних моментів.

(7) Методи М3 та М4

Якщо не можна знехтувати ефектами другого порядку, спричиненими втратою стійкості елемента (тобто умову, зазначену в 7.2.1(4), не задоволено), а також не можна знехтувати ефектами другого порядку, спричиненими втратою стійкості в площині, загальною втратою стійкості із розхитуванням (тобто умову, зазначену в 7.2.1(5), не задоволено), то перевіряння можна виконати одним із наведених нижче методів:

а) Метод М3

Якщо недосконалості, пов'язані з загальною втратою стійкості (з розхитуванням) уводять до загального розрахунку, а місцевими недосконалостями, пов'язаними з викривленням, в загальному розрахунку згідно з 7.3.4 можна знехтувати, то:

- внутрішні зусилля та моменти визначають за допомогою загального розрахунку згідно з теорією другого порядку;

- під час перевіряння опору поперечного перерізу згідно з 8.2 використовують частковий коефіцієнт γ_{M1} , замість γ_{M0} ;

- перевіряння опору втраті стійкості у площині та із площини окремих елементів згідно з 8.3 є обов'язковим та ґрунтується на внутрішніх зусиллях і моментах другого порядку, однак розподіл внутрішніх зусиль і моментів між кінцями елементів можна визначити на основі теорії першого порядку;

- розрахункову довжину за втрати стійкості в площині можна застосувати до форми втрати стійкості без розхитування.

b) Метод М4

Якщо всі ефекти другого порядку від втрати стійкості в площині, а також недосконалості, що пов'язані з загальною втратою стійкості (з розхитуванням), та місцеві недосконалості, пов'язані з викривленням, уводять до загального розрахунку, то:

- внутрішні зусилля та моменти визначають за допомогою загального розрахунку згідно з теорією другого порядку;

- під час перевіряння опору поперечного перерізу згідно з 8.2 використовують частковий коефіцієнт γ_{M1} , замість γ_{M0} ;

- перевіряння опору втраті стійкості окремих елементів у площині з дотриманням критерію, обумовленого в формулі (8.88), можна не виконувати;

- потрібно виконати перевіряння опору втраті стійкості із площини окремих елементів за критерієм, обумовленим у формулі (8.89).

Зазначені посилання на критерії, обумовлені у формулах (8.88) та (8.89), є застосовними, якщо згинальні моменти в площині спричиняють згин відносно сильної осі поперечного перерізу. В іншому разі застосовують відповідні формули.

(8) Метод М5

Якщо всі ефекти другого порядку від втрати стійкості в площині та із площини, включно з ефектами кручення та недосконалостями, пов'язаними з втратою стійкості з розхитуванням, а також місцеві недосконалості, пов'язані з викривленням у площині та із площини, вводять до загального розрахунку, то:

- внутрішні зусилля та моменти визначають за допомогою загального розрахунку згідно з теорією другого порядку;
- під час перевіряння опору поперечного перерізу згідно з 8.2 використовують частковий коефіцієнт γ_{M1} , замість γ_{M0} ;
- перевіряння опору втраті стійкості окремих елементів згідно з 8.3 можна не виконувати.

Примітка. Якщо застосовно, місцеву недосконалість, пов'язану з вигинанням із площини, може бути визначено або з таблиці 7.1, або з таблиці 7.2, залежно від того, яке зі значень є більшим.

(9) Метод ЕМ

Якщо ефектами другого порядку в загальному розрахунку знехтувати не можна (не можна знехтувати ефектами від втрати стійкості в площині, загальної втрати стійкості з розхитуванням, див. 7.2.1(4) та/або 7.2.1(5)), то можна використати «Метод еквівалентного елемента» як альтернативний для перевіряння опору втраті стійкості окремих елементів:

- внутрішні зусилля та моменти можна визначити за допомогою загального розрахунку першого порядку;
- недосконалості вводити до загального розрахунку не потрібно;
- перевіряння опору поперечного перерізу виконують згідно з 8.2;
- перевіряння опору втраті стійкості окремих елементів згідно з 8.3 можна виконати з урахуванням ефектів системи (можливих форм

втрати стійкості з розхитуванням) для визначення відповідної розрахункової довжини кожного окремого елемента.

Примітка. Обмеження щодо використання методу ЕМ може бути встановлено в Національному додатку.

(10) Наслідки нехтування ефектами другого порядку під час визначення внутрішніх зусиль і моментів за методом ЕМ враховують у процесі проєктування пов'язаних вузлів та з'єднаних елементів, включно з перевірянням опору втраті стійкості із площини окремих елементів.

(11) Ефекти другого порядку можна обчислити за допомогою відповідного розрахунку конструкції (включно з покроковими чи іншими ітераційними процедурами). Для каркасів, у яких переважає перша форма втрати стійкості з розхитуванням, можна виконати пружний розрахунок згідно з теорією першого порядку з подальшим посиленням ефектів застосовних дій (наприклад, згинальних моментів), використовуючи відповідні коефіцієнти.

(12)В Для каркасів одноповерхових будівель, запроектованих на основі пружного загального розрахунку, ефекти другого порядку від втрати стійкості з розхитуванням внаслідок вертикальних навантажень можна розрахувати за теорією першого порядку, збільшивши горизонтальні навантаження, $F_{H,d}$ (наприклад, горизонтальну дію вітру) та еквівалентні навантаження, $F_d \phi$, пов'язані з недосконаlostями (див. 7.3.2(5)), та інші можливі ефекти розхитування за допомогою коефіцієнта k_{sw} :

$$k_{sw} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr,sw}}} , \quad (7.6)$$

за умови, що $\alpha_{cr,sw} \geq 3,0$,

де $\alpha_{cr,sw}$ можна розрахувати за формулою (7.3), наведеною в 7.2.1(10)В, за умови, що осьовий стиск у балках чи кроквяних ригелях вважають несуттєвим, як зазначено в 7.2.1(11)В.

Примітка 1. У разі $\alpha_{cr,sw} < 3,0$ застосовують більш точний розрахунок згідно з теорією другого порядку.

Примітка 2. Формулу (7.6) може бути використано, крім розрахунку будівель, також для інших конструкцій.

(13)В Для каркасів багатоповерхових будівель ефекти другого порядку від втрати стійкості з розхитуванням можна розрахувати, використовуючи наведений в 7.2.2(12)В метод, за умови, що всі поверхи мають подібний розподіл:

- вертикальних навантажень, та
- горизонтальних навантажень; та
- жорсткості каркасу відносно прикладених до поверху (поперечних) сил зсуву.

Примітка. Щодо обмежень застосування методу див. 7.2.2(12)В.

7.3 Недосконалості

7.3.1 Основні вимоги

(1) До конструкційного розрахунку вводять відповідні допуски, щоб охопити ефекти недосконалостей, включно із наявними у вузлах ненавантаженої конструкції залишковими напруженнями та геометричними недосконалостями, такими як відхили за вертикальністю, прямолінійністю, площинністю, підгонкою, а також ексцентриситети, що перевищують установлені в EN 1090-2 основні допуски.

(2) Еквівалентні геометричні недосконалості використовують зі значеннями, що відображають можливі ефекти всіх типів

недосконалостей, за винятком ситуацій, в яких ці ефекти введено до формул опору, застосовних для розрахунку елементів, див. 7.3.3.

(3) Передбачену форму втрати стійкості з розхитуванням та недосконалою викривлення можна визначити з форми втрати стійкості в пружній стадії конструкції в розглядуваній площині.

(4) Втрату стійкості як у площині, так і з площини, включно з втратою стійкості за крутильною симетричною та несиметричною формами, враховують у найбільш несприятливих напрямку та формі.

(5) Якщо застосовно, враховують:

- недосконалості, що призводять до розхитування, у загальному розрахунку каркасів (див. 7.3.2 та 7.3.4);
- недосконалості викривлення у загальному розрахунку та розрахунку елементів (див. 7.3.3 та 7.3.4);
- недосконалості в розрахунку систем в'язей (див. 7.3.5);
- недосконалості, обумовлені критичними формами втрати стійкості в пружній стадії (див. 7.3.6).

7.3.2 Недосконалості, що призводять до розхитування, застосовні в загальному розрахунку каркасів

(1) Для розрахунку каркасів, схильних до форми втрати стійкості з розхитуванням (див. 7.2.1(5)), ефекти недосконалостей враховують, використовуючи еквівалентні недосконалості у формі початкової недосконалості, що спричиняє розхитування, ϕ (див. рисунок 7.4).

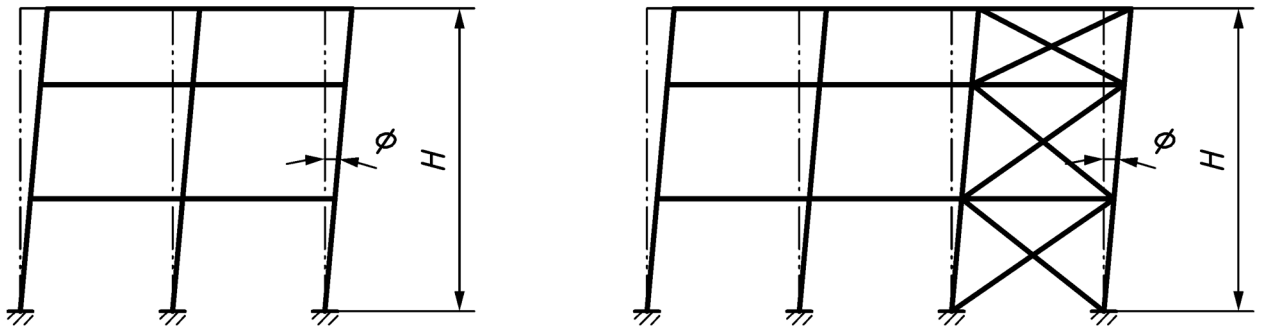


Рисунок 7.4 – Початкова недосконалість, що спричиняє розхитування

(2) Початкову недосконалість, що спричиняє розхитування, ϕ , можна визначити за формулою (7.7):

$$\phi = \phi_0 \alpha_H \alpha_m \quad (7.7)$$

де

ϕ_0 – базове значення:

$\phi_0 = 1/400$ для перевіряння опору в пружній стадії поперечних перерізів та елементів;

$\phi_0 = 1/200$ для перевіряння опору в пластичній стадії поперечних перерізів та елементів;

α_H – понижувальний коефіцієнт для висоти H , застосовний до колон:

$$\alpha_H = \frac{2}{\sqrt{H}}, \text{ але } \alpha_H \leq 1,0 ;$$

H – висота конструкції, в метрах;

α_m – понижувальний коефіцієнт для кількості колон у стабілізованому стані:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)} ;$$

m – кількість колон у ряду, що охоплює лише ті колони, які сприймають вертикальне навантаження, N_{Ed} , щонайменше 50 % від середнього значення всіх колон у розглядуваній вертикальній площині.

(3) Початкову недосконалість, що спричиняє розхитування, ϕ , застосовують до всіх відповідних горизонтальних напрямків, однак розглядати потрібно лише по одному напрямку за раз.

(4)В Щодо каркасів будівель недосконалість, що спричиняють розхитування, можна не розглядати, якщо:

$$F_{H,d} \geq 0,15 F_{V,d} \quad (7.8)$$

де

$F_{H,d}$ – розрахункове значення сумарного горизонтального навантаження;

$F_{V,d}$ – розрахункове значення сумарного вертикального навантаження.

(5) Ефекти недосконалість, що призводить до розхитування, можна замінити на системи еквівалентних горизонтальних сил, які вводять для кожної колони, див. рисунок 7.5.

(6)В Якщо до рамних каркасів багатопверхових будівель застосовують еквівалентні сили, то їх прикладають до перекриттів кожного поверху та на рівні покрівлі.

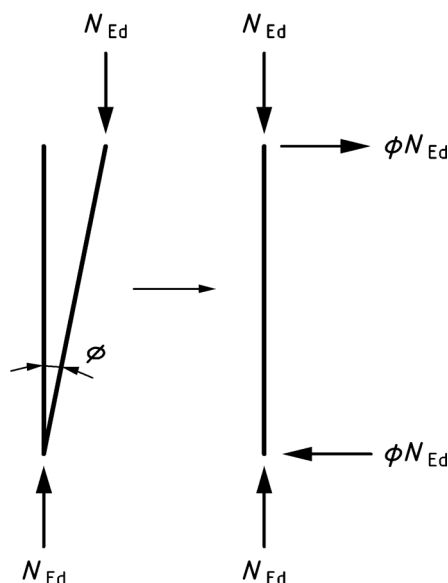


Рисунок 7.5 – Заміна початкової недосконалість, що спричиняє розхитування, на еквівалентні горизонтальні сили

7.3.3 Еквівалентна недосконалість викривлення для загального розрахунку та розрахунку елементів

7.3.3.1 Втрати стійкості за згинальною формою

(1) Еквівалентну недосконалість викривлення, e_0 , елементів у разі втрати стійкості за згинальною формою можна визначити згідно з формулою (7.9).

$$e_0 = \frac{\alpha}{\varepsilon} \beta L, \quad (7.9)$$

де

L – довжина елемента;

α – коефіцієнт недосконалості, використовуваний залежно від застосовної кривої втрати стійкості згідно з таблицею 8.2;

ε – параметр матеріалу, визначений у 5.2.5(2);

β – стандартна відносна недосконалість викривлення згідно з таблицею 7.1.

Таблиця 7.1 – Стандартна відносна недосконалість викривлення, β

Втрати стійкості відносно осі	Перевіряння поперечного перерізу в пружній стадії	Перевіряння поперечного перерізу в пластичній стадії
y-y	1/110	1/75
z-z	1/200	1/68

Примітка. Значення e_0 визначають за формулою (7.9), якщо в Національному додатку не наведено іншого.

(2) Якщо елемент перевіряють з огляду на опір поперечного перерізу в пластичній стадії, то:

– у разі втрати стійкості відносно осі y-y поперечного перерізу застосовують положення 8.2.1(7) щодо лінійної взаємодії в пластичній стадії;

– у разі втрати стійкості відносно осі z-z поперечного перерізу можна відповідно застосувати положення 8.2.9 щодо взаємодії в пластичній стадії, обмеживши однак розрахункове значення опору згинальному моменту в пластичній стадії, $M_{pl,Rd}$, до величини $1,25M_{el,Rd}$.

Примітка. Для порожнистих профілів із круглими та квадратними перерізами може бути розглянуто втрату стійкості відносно осі y-y або осі z-z.

(3) Ефекти еквівалентної недосконалості викривлення можна замінити на системи еквівалентних горизонтальних сил, які вводять для кожного елемента, див. рисунок 7.6.

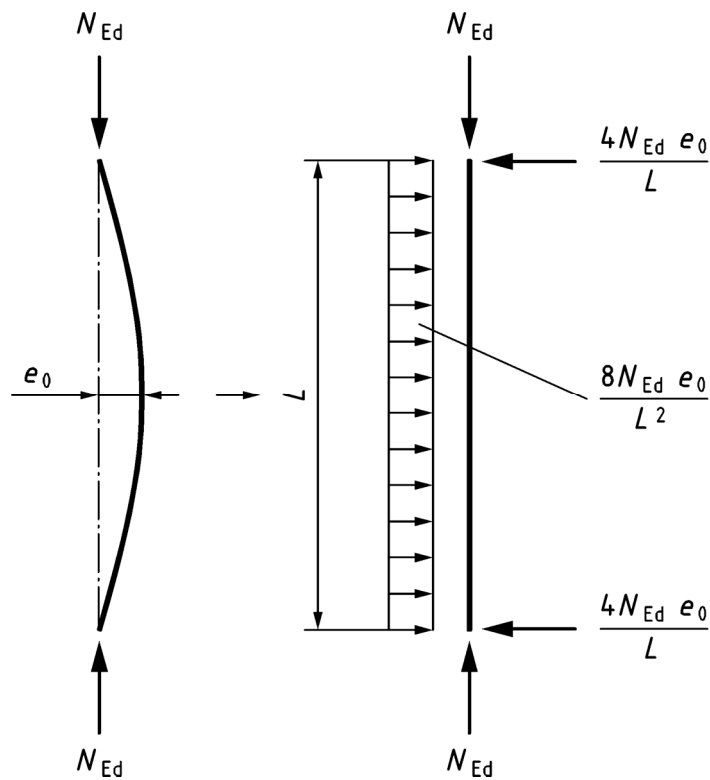


Рисунок 7.6 – Заміна еквівалентної недосконалості викривлення на еквівалентні сили

(4) Для проєктування складених елементів із постійним перерізом згідно з 8.4 величину e_0 еквівалентної недосконалості викривлення визначають за формулою (7.10):

$$e_0 = \frac{L}{500}, \quad (7.10)$$

де L – довжина складеного елемента.

7.3.3.2 Втрата стійкості за поперечно-крутильною формою

(1) Для розрахунку згідно з теорією другого порядку в разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою елемента за умов згину еквівалентну недосконалість викривлення за згинальної форми втрати стійкості відносно слабкої осі поперечного перерізу, $e_{0,LT}$, можна визначити згідно з формулою (7.11). У загальній ситуації, додатковою недосконалістю, пов'язаною з крученням, можна знехтувати.

$$e_{0,LT} = \beta_{LT} \frac{L}{\varepsilon}, \quad (7.11)$$

де

L – довжина елемента;

ε – параметр матеріалу, визначений у 5.2.5(2);

β_{LT} – стандартна відносна недосконалість викривлення, застосовна у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з таблицею 7.2.

Таблиця 7.2 – Стандартна відносна недосконалість викривлення, β_{LT} , застосовна до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

Поперечний переріз	Умова	Перевіряння поперечного перерізу в пружній стадії	Перевіряння поперечного перерізу в пластичній стадії
Прокатний профіль	$h/b \leq 2,0$	1/250	1/200
	$h/b > 2,0$	1/200	1/150
Зварний профіль	$h/b \leq 2,0$	1/200	1/150
	$h/b > 2,0$	1/150	1/100

Примітка. Значення $e_{0,LT}$ визначають за формулою (7.11), якщо в Національному додатку не наведено іншого.

7.3.4 Комбінація недосконалостей, що призводять до розхитування, та еквівалентних недосконалостей викривлення для загального розрахунку каркасів

(1) Під час виконання загального розрахунку для визначення зусиль і кінцевих моментів, що має бути використано для їх перевіряння згідно з 8.3, еквівалентні недосконалості викривлення можна не враховувати. Однак у разі каркасів, чутливих до ефектів другого порядку, до конструкційного розрахунку каркасу вводять для кожного стиснутого елемента еквівалентні недосконалості викривлення елементів додатково до загальних недосконалостей, що призводять до розхитування, за таких умов:

– наявність щонайменше одного додатного до сприйняття моменту вузла на одному кінці елемента;

$$- N_{Ed} > 0,25 N_{cr}, \quad (7.12)$$

де N_{Ed} – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили, а N_{cr} – критична поздовжня сила, визначена для втрати стійкості за згинальною формою в площині елемента, який розглядають як шарнірно обпертий на кінцях.

Примітка. Під час перевіряння елементів враховують еквівалентні недосконалості викривлення.

7.3.5 Недосконалості для розрахунку систем в'язей

7.3.5.1 Системи горизонтальних в'язей

(1) У разі розрахунку систем в'язей, призначених для забезпечення поперечної стійкості балок за їх довжиною чи стиснутих елементів, ефекти недосконалостей долучають за використання еквівалентної геометричної недосконалості елементів, які має бути закріплено, у формі початкової недосконалості викривлення, яку обчислюють за формулою (7.13):

$$e_0 = \alpha_m L / 500, \quad (7.13)$$

де

L – прогін системи в'язей;

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)},$$

де m – кількість елементів, які має бути закріплено.

(2) Ефекти початкових недосконалостей викривлення елементів, які має бути закріплено за допомогою системи в'язей, можна замінити на еквівалентні навантаження, q_d , які показано на рисунку 7.7, які обчислюють за формулою (7.14):

$$q_d = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}, \quad (7.14)$$

де

N_{Ed} – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили;

δ_q – прогин у площині системи в'язей внаслідок q_d плюс будь-які зовнішні навантаження, визначені за результатами розрахунку згідно з теорією першого порядку. Значення δ_q можна прийняти як таке, що дорівнює 0, у разі застосування теорії другого порядку.

(3) Якщо система в'язей потрібна для забезпечення стійкості стиснутої полиці балки постійної висоти, то значення сили, N_{Ed} , зазначеної на рисунку 7.7, можна отримати за формулою (7.15):

$$N_{Ed} = M_{Ed} / h, \quad (7.15)$$

де

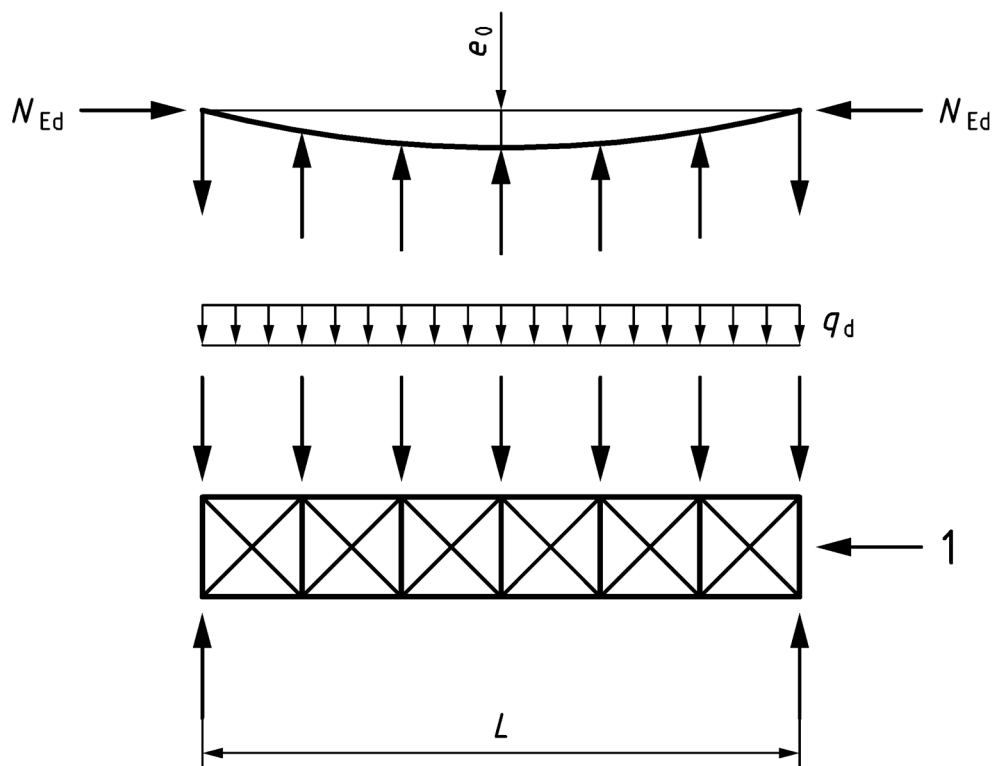
M_{Ed} – максимальний момент у балці;

h – загальна висота балки.

(4) Якщо балку піддано зовнішньому стиску, зазначена у формулі (7.15) сила N_{Ed} має охоплювати відповідну частину стискальної поздовжньої сили.

Примітка. Припускають, що сила N_{Ed} є рівномірно розподіленою в межах прогону, L , системи в'язей. У разі нерівномірно розподілених сил це припущення є дещо консервативним.

(5) У місцях стикування балок чи стиснутих елементів систему горизонтальних в'язей перевіряють також на придатність до опору місцевій силі, Q_m , згідно з 7.3.5.2(2).



Умовна позначка

1 – система в'язей

Рисунок 7.7 – Еквівалентне навантаження, що діє на систему в'язей

7.3.5.2 Вертикальні в'язі

(1)В Для визначення горизонтальних сил, прикладених на рівні діафрагм перекриття, до розрахунку вводять недосконалість. Можна застосувати недосконалість у формі відповідно до рисунку 7.8, де ϕ

обчислюють за формулою (7.16), приймаючи H_{st} як висоту одного поверху.

$$\phi = \alpha_m \alpha_H \phi_0 \quad (7.16)$$

де

$\phi_0 = \frac{1}{400}$ для нестикованих стиснутих елементів;

$\phi_0 = \frac{1}{200}$ для стикованих стиснутих елементів;

α_m – понижувальний коефіцієнт, визначений згідно з 7.3.2(2) відповідно до кількості, m , закріплюваних елементів;

α_H – застосовний до нестикованих стиснутих елементів, понижувальний коефіцієнт, визначений згідно з 7.3.2(2), щодо якого висоту H приймають як таку, що дорівнює висоті поверху, H_{st} , а за умов стикованих стиснутих елементів $\alpha_H = 1,0$.

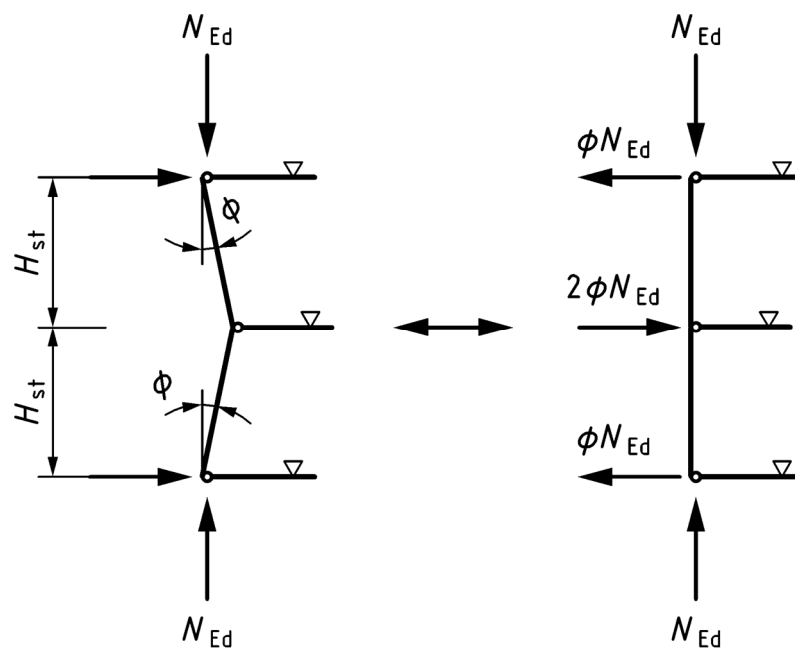


Рисунок 7.8 – Форма недосконалостей, ϕ , за умов дії горизонтальних сил, прикладених на рівні діафрагм перекриття

(2) У точках обпирання стиснутих елементів перевіряють також згідно з формулою (7.17) систему в'язей на придатність до опору локальній силі, Q_m , яку прикладають до неї кожна балка чи стиснутий

елемент, обперті в цій точці, а також здатність перерозподіляти цю силу до сусідніх точок, у яких закріплено цей стиснутий елемент.

$$Q_m = 2\phi N_{Ed}, \quad (7.17)$$

де

ϕ – визначено в (1)В;

N_{Ed} – розрахункове значення поздовжньої сили стиску в закріпленому елементі.

7.3.6 Недосконалість, від якої залежить тип критичної втрати стійкості в пружній стадії

(1) Як альтернативний варіант щодо 7.3.2 та 7.3.3.1, форму критичної втрати стійкості у пружній стадії, $\eta_{cr}(x)$, конструкції каркаса або перевіреного розрахунком елемента можна використати як індивідуально визначену загальну та місцеву початкову недосконалість. Форму еквівалентної геометричної недосконалості, $\eta_{init}(x)$, можна виразити за допомогою формули (7.18):

$$\eta_{init}(x) = e_{0,m} \frac{N_{cr,m}}{EI_m |\eta_{cr,m}''|} \eta_{cr}(x), \quad (7.18)$$

де

$$e_{0,m} = \alpha_m (\bar{\lambda}_m - 0,2) \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}}, \quad \text{за умови } \bar{\lambda}_m > 0,2; \quad (7.19)$$

m – позначка критичного поперечного перерізу конструкції каркаса або перевіреного розрахунком елемента (див. примітку 3). Позначка m вказує на те, що значення чи характеристика належить до критичного поперечного перерізу;

$$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{N_{Rk,m}}{N_{cr,m}}} \quad - \quad \text{відносна гнучкість елемента, визначена у}$$

критичному перерізі m ;

$\alpha_{\eta,m}$ – коефіцієнт недосконалості α , встановлений для відповідної кривої втрати стійкості в критичному поперечному перерізі, m , див. таблиці 8.2 та 8.3;

$N_{cr,m} = \alpha_{cr} N_{Ed,m}$ – значення критичної поздовжньої сили у поперечному перерізі, m , а також критичної поздовжньої сили для еквівалентного елемента;

α_{cr} – мінімальний коефіцієнт збільшення поздовжньої сили, N_{Ed} , в елементах, застосовний для досягнення критичного навантаження та втрати стійкості в пружній стадії конструкції;

$M_{Rk,m}$ – характеристичне значення опору згинальному моменту в критичному поперечному перерізі m , наприклад, $M_{el,Rk,m}$ чи $M_{pl,Rk,m}$ відповідно;

$N_{Rk,m}$ – характеристичне значення опору поздовжній силі критичного поперечного перерізу;

$EI_m |\eta_{cr}''|$ – абсолютне значення згинального моменту, обумовленого $\eta_{cr,m}$ у критичному поперечному перерізі, m ;

$\eta_{cr}(x)$ – форма відповідного (першого чи наступних після нього) типу критичної втрати стійкості в пружній стадії.

Примітка 1. Недосконалість $\eta_{init}(x)$ у формі критичної втрати стійкості в пружній стадії застосовна, зазвичай, до всіх стиснутих елементів і для каркасів у разі втрати стійкості, що відбувається у їхній площині. Це зокрема стосується елементів із характеристиками поперечного перерізу та/або поздовжньою силою, які не є постійними по їхній довжині, а також каркасів, що містять такі елементи.

Примітка 2. Для розрахунку коефіцієнта посилення, α_{cr} , елементи конструкції вважають такими, що сприймають поздовжні сили, N_{Ed} , які визначено з результатів пружного розрахунку згідно з теорією першого порядку стосовно розрахункових навантажень конструкції.

Примітка 3. Критичний поперечний переріз m – це поперечний переріз із найвищим коефіцієнтом використання з огляду на ефекти дії поздовжньої сили та

згинальних моментів, спричинених недосконалістю. У разі елементів з високим ступенем несиметричності буває потрібно визначати положення критичного поперечного перерізу, m , за допомогою ітераційної процедури.

(2) Вираз $EI_m|\eta_{cr}''|$ у формулі (7.18) можна замінити на такий:

$$|M_{\eta,cr,m}^{II}|(\alpha_{cr} - 1),$$

де

$|M_{\eta,cr,m}^{II}|(\alpha_{cr} - 1)$ – згинальний момент у поперечному перерізі m , обчислений за допомогою розрахунку згідно з теорією другого порядку, виконаного для конструкції з недосконалістю форми, від якої залежить тип втрати стійкості в пружній стадії, η_{cr} .

(3) Якщо загальний розрахунок виконують за використання недосконалості, визначеної в (1), то поперечні перерізи перевіряють на відповідність критерію, наведеному в 8.2.1(7). Якщо критерій застосовують до опору в пластичній стадії, то розрахункове значення опору згинальному моменту, $M_{c,Rd}$, як для сильної осі, так і для слабкої осі має бути обмежено до $1,25M_{el,Rd}$.

7.4 Методи розрахунку з урахуванням нелінійних властивостей матеріалів

7.4.1 Загальні положення

(1) Внутрішні сили та моменти можна визначити за допомогою:

a) загального пружного розрахунку (див. 7.4.2) або

b) загального пластичного розрахунку (див. 7.4.3).

Примітка. Щодо розрахунку з використанням моделі скінченних елементів (*finite element model; FEM*) див. prEN 1993-1-14⁴.

(2) Загальний пружний розрахунок можна використовувати в усіх ситуаціях.

⁴ На розгляді.

(3) Загальний пластичний розрахунок можна використовувати для конструкцій з елементами, виготовленими зі сталі марок до S460 включно, а також якщо конструкція має достатню обертальну здатність у місцях фактичного розташування пластичних шарнірів, незалежно від того, чи їх розташовано в елементах, чи в з'єднаннях.

а) Якщо в елементі є пластичний шарнір, то поперечний переріз елемента має бути симетричним із двома осями симетрії чи одною віссю симетрії та площиною симетрії тою самою, що й площина повертання пластичного шарніра, і задовольняти вимоги, вказані в 7.6.

б) Якщо згідно з конструкційним розрахунком у вузлі виникає пластичний шарнір, то забезпечують придатність цього вузла витримувати опір у пластичній стадії, потрібний для достатнього повертання, див. EN 1993-1-8.

Примітка. Правила загального пластичного розрахунку за використання пластичних шарнірів у разі марок сталі вище S460 може бути встановлено в Національному додатку. В цій ситуації застосовні правила, наприклад, викладені в 7.4.3 та 8.2.3, можна відповідно змінити.

(4)В Як спрощений метод обмеженого перерозподілу моментів у пластичній стадії, у разі нерозрізних (жорстких) балок, в яких згідно з результатами пружного розрахунку деякі пікові значення моментів перевищують опір згину в пластичній стадії щонайбільше на 15 %, частини моментів, що перевищили ці пікові значення, можна перерозподілити в будь-якому елементі за таких умов:

а) внутрішні зусилля та моменти в каркасі залишаються в стані рівноваги з прикладеними навантаженнями, та

б) всі елементи, в яких зменшено моменти, виготовлятимуть зі сталі марки до S460 включно, із поперечними перерізами класу 1 чи класу 2 (див. 7.5), та

с) елементи убезпечено від втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, див. 8.3.5.

7.4.2 Загальний пружний розрахунок

(1) Загальний пружний розрахунок засновують на припущенні, що поведінка матеріалу «напруження-деформація» є лінійною, незалежно від рівня напружень.

Примітка. Щодо обрання моделі напівжорсткого вузла див. 7.1.2.

(2) Внутрішні зусилля та моменти можна визначити згідно з загальним пружним розрахунком, навіть якщо опір поперечного перерізу ґрунтується на його опорі в пластичній стадії, див. 8.2.

7.4.3 Загальний пластичний розрахунок

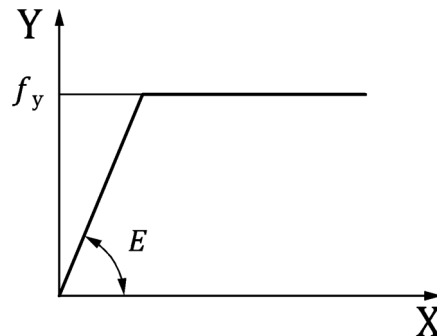
(1) У загальному пластичному розрахунку враховують ефекти нелінійної поведінки матеріалу під час розрахунку ефектів дії конструкційної системи. Поведінку моделюють, залежно від умов, зазначених у підпунктах від (4) до(8), за допомогою будь-якого з двох зазначених нижче методів:

а) метод пластичних шарнірів: розгляд нелінійної поведінки матеріалу зосереджують у перерізах, схильних до пластичних деформацій, та/або вузлах, що є пластичними шарнірами;

б) метод зон пластичності: детально розглядають часткові пластичні деформації елементів у зонах пластичності.

(2) Загальний пластичний розрахунок можна використовувати, якщо забезпечено достатнє поперечне закріплення поблизу перерізів, де під розрахунковими навантаженнями може утворитися пластичний шарнір чи зона пластичності, див. 8.3.5.

(3) Для сталі марок до S460 включно можна використовувати білінійну залежність «напруження-деформація», зазначену на рисунку 7.9.



Умовні позначки:

X – деформація;

Y – напруження

Рисунок 7.9 – Білінійна залежність «напруження-деформація»

(4) У разі моделювання елементів із пластичними шарнірами, див. (1) а):

– можна використовувати лише сталі марок до S460 включно та сталі, що задовольняють умови 5.2.2 а);

– загальний пластичний розрахунок можна використовувати, лише якщо елементи (чи вузли) мають достатню поворотну здатність для забезпечення потрібного перерозподілу згинальних моментів, див. 7.5 та 7.6.

Примітка. Щодо сталі марок вище S460 див. (8) та (9).

(5) У разі моделювання елементів із пластичними шарнірами та в ситуації, в якій можна знехтувати ефектами другого порядку (див. 7.2.1(4) та 7.2.1(5)), можна використовувати жорстко-пластичний розрахунок, в якому не враховують пружний характер роботи між шарнірами. У цьому разі вузли класифікуються лише за міцністю, див. EN 1993-1-8.

(6) У разі моделювання елементів із пластичними шарнірами та за потреби врахування ефектів другого порядку виконують пружно-пластичний розрахунок. Ефекти геометричної форми конструкції у деформованому стані та конструкційну стійкість каркаса перевіряють, дотримуючись принципів, викладених у 7.2.

(7) У разі використання пластичного розрахунку умови формул (7.1) та (7.2) застосовують до системи перед формуванням останнього пластичного шарніру або перевіряють їх дотримання щодо кожної окремої системи по ходу утворення різних пластичних шарнірів, до досягнення розрахункового навантаження.

Примітка. Максимального опору каркаса з геометричною формою в суттєво деформованому стані може бути досягнуто до того, як розвинуться всі шарніри, пов'язані з механізмом руйнування згідно з теорією першого порядку.

(8) У разі використання сталі марок вище S460 пластичний розрахунок виконують з урахуванням часткових пластичних деформацій у зонах пластичності згідно з методом зон пластичності, наведеним в (1) b).

(9) У разі моделювання елементів із частковими пластичними деформаціями в зонах пластичності, див. (1) b):

- правила проєктування із застосуванням методу скінченних елементів наведено в prEN 1993-1-14;

- сталь марок вище S460 можна використовуватися за врахування кривих залежності «напруження-деформація», включно з обмеженнями деформації, та, якщо застосовно, ефектів місцевих недосконалостей пластини згідно з prEN 1993-1-14.

(10) У разі нелінійних властивостей матеріалу ефекти дій на конструкцію можна визначати покроковим методом, на основі розрахункових навантажень, застосовних до кожної відповідної

розрахункової ситуації. Використовуючи такий покроковий метод, збільшення кожної постійної чи змінної дії виконують пропорційно.

7.5 Класифікація поперечних перерізів

7.5.1 Основні вимоги

(1) Поперечні перерізи класифікують за ступенем, за яким їх опір та здатність до повертання обмежено їхнім опором місцевій втраті стійкості.

7.5.2 Класифікація

(1) Для визначення опору поперечний переріз відносять до одного з таких чотирьох класів:

- поперечні перерізи класу 1, які можуть утворювати пластичний шарнір із поворотною здатністю, потрібною згідно з результатами загального пластичного розрахунку, без зменшення опору;

- поперечні перерізи класу 2, які можуть забезпечувати опір згинальному моменту в пластичній стадії, але мають обмежену поворотну здатність внаслідок місцевої страти стійкості;

- поперечні перерізи класу 3, в яких напруження в крайніх стиснутих волокнах сталевого елемента, за припущення щодо розподілу напружень у пружній стадії, може досягати границі текучості, але місцева втрата стійкості може перешкоджати забезпеченню опору згинальному моменту в пластичній стадії;

- поперечні перерізи класу 4, в яких місцева втрата стійкості відбуватиметься до досягнення границі текучості в будь-якій частині поперечного перерізу.

(2) У поперечних перерізах класу 4 можна використовувати ефективну ширину, щоб забезпечити потрібні допуски для зменшення опору внаслідок ефектів місцевої втрати стійкості, див. EN 1993-1-5.

(3) Поперечні перерізи класифікують за співвідношенням ширини до товщини, розподілом напружень та границею текучості частин, які піддано стиску.

Примітка. Різні стиснуті частини за поперечним перерізом (наприклад, стінка чи полиця), загалом, може бути віднесено до різних класів.

(4) Стиснуті частини розглядають, охоплюючи кожну частину поперечного перерізу, яку повністю або частково стиснуто внаслідок поздовжньої сили та/або згинального моменту за умов застосовної комбінації навантажень.

(5) Поперечний переріз класифікують за найвищим (найменш сприятливим) класом, до якого віднесено його стиснуті частини. Винятки визначено в 8.2.1(10) та 8.2.2.4(1).

(6) Як альтернативний варіант, клас поперечного перерізу може бути визначено оцінюванням на відповідність певному класу як полиці, так і стінки.

(7) Максимальні значення відношення ширини до товщини для стиснутих частин класів 1, 2 та 3 отримують із таблиць від 7.3 до 7.5. Вони залежать від параметра матеріалу ε , визначеного в 5.2.5(2). Частину, яка не відповідає граничним значенням, установленим для класу 3, вважають відповідною класу 4.

(8) До стиснутих частин із поздовжніми елементами жорсткості застосовують положення EN 1993-1-5.

(9) За винятком зазначених у (10) ситуацій, поперечні перерізи класу 4 можна розглядати як такі, що належать до класу 3, якщо значення відношення ширини до товщини є меншими, ніж отримані з таблиць 7.3–7.5 граничні значення відношення за класом 3, у разі ε , збільшеного на $\sqrt{\frac{f_y/\gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}}}$, де $\sigma_{com,Ed}$ – максимальне розрахункове

напруження за умов стиску в частині, отримане за результатами розрахунку згідно з теорією першого порядку чи, за потреби, другого порядку.

(10) Положення (9) не застосовують під час перевіряння розрахункового опору втраті стійкості елемента згідно з 8.3. Граничні значення відношення для класу 3 в цьому разі отримують із таблиць від 7.3 до 7.5.

(11) Поперечні перерізи зі стінкою класу 3 та полицями класу 1 чи 2 можна віднести до поперечних перерізів класу 2 з ефективною стінкою згідно з 8.2.2.4.

(12) Якщо вважають, що стінка сприймає лише зсувні сили, та припускають, що вона не збільшує опір поперечного перерізу щодо дії згинального моменту та поздовжньої сили, то поперечний переріз можна розрахувати як переріз класу 2, 3 або 4, залежно лише від класу полиці.

Примітка. Щодо спричиненої полицею втрати стійкості стінки див. EN 1993-1-5.

7.6 Вимоги щодо поперечного перерізу для загального пластичного розрахунку

(1) У місцях пластичних шарнірів рекомендовано, щоб поперечний переріз елемента мав достатню поворотну здатність.

(2) В елементі з постійним поперечним перерізом можна припустити, що поворотна здатність пластичного шарніра є достатньою, якщо задоволено обидві наведені нижче вимоги:

а) елемент має поперечний переріз класу 1 у місці пластичного шарніра (див. 7.5.2 щодо класифікації поперечного перерізу);

б) якщо в місці утворення пластичного шарніра до стінки прикладено поперечну силу, яка перевищує 10 % від опору зсуву поперечного перерізу, див. 8.2.6, то забезпечують установлення

елементів жорсткості стінки у межах відстані вздовж елемента $h/2$, відраховуючи від місця розташування пластичного шарніра, де h – висота поперечного перерізу.

(3) Якщо поперечний переріз елемента змінюється по його довжині, то додатково до наведених в (2), дотримують відповідності наведеним нижче критеріям:

а) товщину стінки, що примикає до місць розташування пластичних шарнірів, не рекомендовано зменшувати на відстані, вимірюваній від розташування пластичного шарніра в кожному напрямку вздовж елемента, яка становить щонайменше $2h_w$, де h_w – висота перерізу стінки в місці розташування пластичного шарніра;

б) стиснуту полицю, що примикає до місць розташування пластичних шарнірів, відносять за поперечним перерізом до класу 1 на відстані, вимірюваній від розташування пластичного шарніра в кожному напрямку вздовж елемента, що не менша, ніж зазначене більше з таких значень:

– $2h_w$, де h_w визначено в (3)а);

– відстань до найближчої точки, в якій момент в елементі знижено до 80 % опору згинальному моменту в пластичній стадії у точці, яку розглядають.

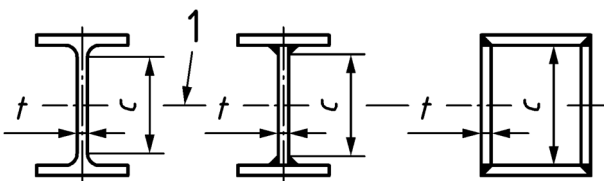
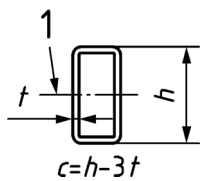
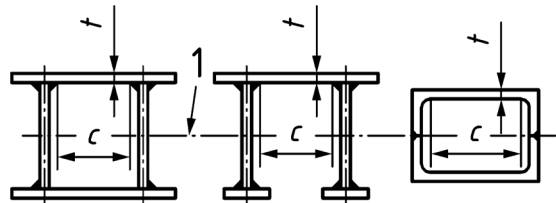
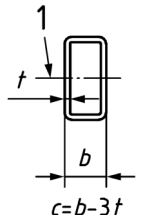
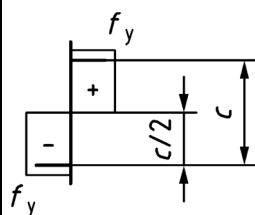
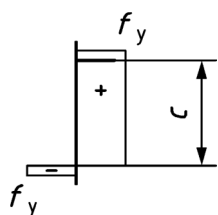
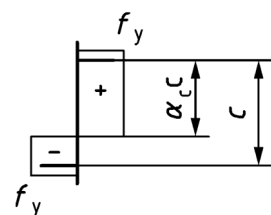
с) в інших місцях елемента стиснуту полицю відносять за поперечним перерізом до класу 1 чи 2, а стінку – до класу 1, 2 чи 3.

(4) Щодо будь-яких отворів для кріпильних виробів за умов розтягу, які примикають до місць розташування пластичних шарнірів, дотримують відповідності вимогам 8.2.5(4) на відстані вздовж елемента, визначеній згідно з (3) б), вимірюваній від місця розташування пластичних шарнірів.

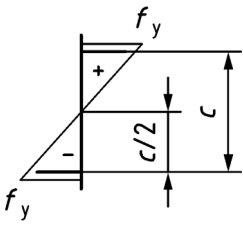
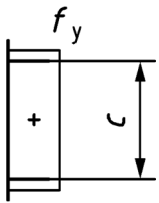
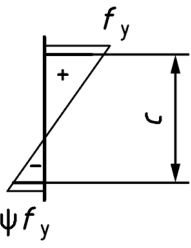
(5) У разі пластичного розрахунку конструкції каркаса відповідно до вимог щодо поперечного перерізу придатність до перерозподілу моментів у пластичній стадії можна вважати достатньою, якщо зазначені в підпунктах з (2) по (4) вимоги дотримано для всіх елементів, в яких пластичні шарніри існують, можуть виникнути чи виникли за розрахункових навантажень.

(6) Положення підпунктів з (2) по (5) можна не враховувати в разі використання методів загального пластичного розрахунку, згідно з якими враховують реальне напруження та деформацію вздовж елемента, разом із комбінаційним ефектом місцевої втрати стійкості, втрати стійкості елемента та загальної втрати стійкості.

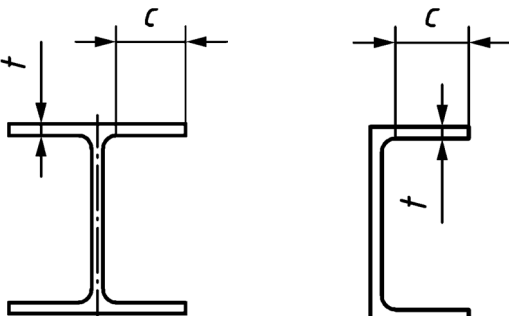
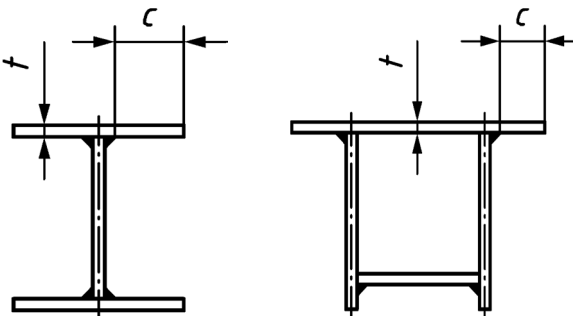
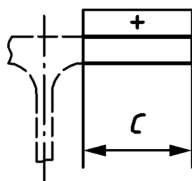
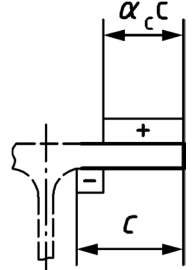
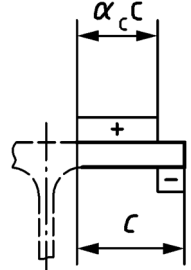
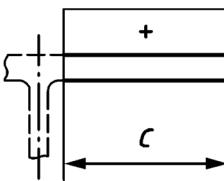
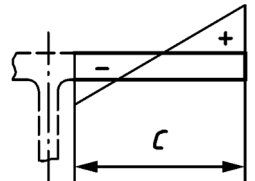
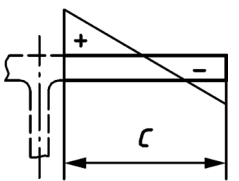
Таблиця 7.3 – Максимальні значення відношення ширини до товщини стиснутих внутрішніх частин

Стиснуті внутрішні частини			
			
			
Умовна позначка: 1 – вісь згину			
	Частина, яку піддано згину	Частина, яку піддано стиску	Частина, яку піддано згину та дії поздовжньої сили
Розподіл напруження у частинах (стиск додатний)			

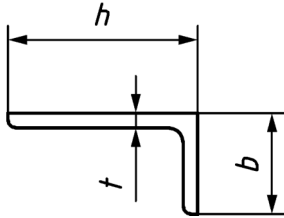
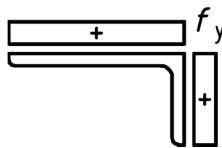
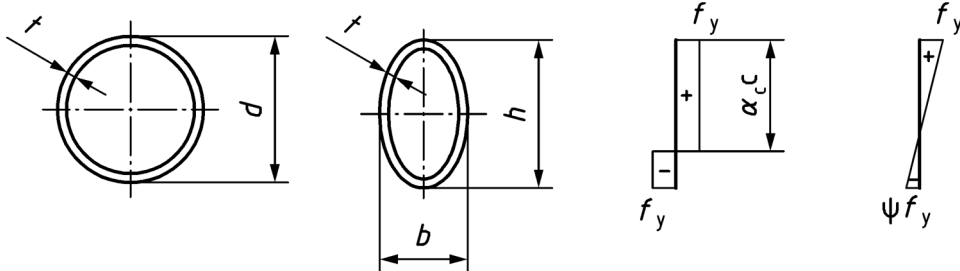
Кінець таблиці 7.3

	Частина, яку піддано згину	Частина, яку піддано стиску	Частина, яку піддано згину та дії поздовжньої сили
Клас 1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 28\varepsilon$	якщо $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{126\varepsilon}{5,5\alpha_c - 1}$; якщо $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha_c}$
Клас 2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 34\varepsilon$	якщо $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{188\varepsilon}{6,53\alpha_c - 1}$; якщо $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha_c}$
Розподіл напруження у частинах (стиск додатний)			
Клас 3	$c/t \leq 121\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	якщо $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{38\varepsilon}{0,608 + 0,343\psi + 0,049\psi^2}$; якщо $\psi \leq -1^a$: $\frac{c}{t} \leq 60,5\varepsilon(1 - \psi)$
Для двотаврових профілів з І-подібним чи Н-подібним перерізом з однаковими полицями, під дією поздовжньої сили та згинального моменту відносно головної осі, паралельної полицям, параметр α_c, що визначає положення нейтральної осі в пластичній стадії, можна розрахувати таким способом: якщо $N_{Ed} \geq c t_w f_y$ $\alpha_c = 1,0$; якщо $N_{Ed} \leq -c t_w f_y$ $\alpha_c = 0$. В інших ситуаціях: $\alpha_c = 0,5 \left(1 + \frac{N_{Ed}}{c t_w f_y} \right)$, де N_{Ed} – розрахункове значення поздовжньої сили, прийняте як додатне у разі стиску та від'ємне у разі розтягу.			
^a $\psi \leq -1$ та напруження стиску $\sigma_{com,Ed} = f_y$ застосовують, якщо деформація за розтягу $\varepsilon_t > f_y/E$.			

Таблиця 7.4 – Максимальні значення відношення ширини до товщини стиснутих частин звисів полиць

Звиси полиць			
 Прокатні профілі		 Зварні профілі	
	Частина, яку піддано лише стиску	Частина, яку піддано згину та дії поздовжньої сили	
Розподіл напруження у частинах (стиск додатний)			
Клас 1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Клас 2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Розподіл напруження у частинах (стиск додатний)			
Клас 3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ Стосовно k_σ див. EN 1993-1-5	

Таблиця 7.5 – Максимальні значення відношення ширини до товщини стиснутих частин кутикових профілів і порожнистих профілів із круглим та еліптичним перерізами

Кутикові профілі			
Застосовними є також «Звиси полиць» (див. таблицю 7.4)			Не застосовне до кутиків, які безперервно контактують з іншими елементами
Розподіл напруження по перерізу (стиск додатний)			
Клас 3	$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ та $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$		
Порожністі профілі з круглим та еліптичним перерізами			
			
	Переріз, який піддано стиску	Переріз, який піддано згину	Переріз, який піддано згину та дії поздовжньої сили
Клас 1	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$
Клас 2	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$
Клас 3	$d_e/t \leq 90\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 140\varepsilon^2$	$d_e/t \leq \frac{2520\varepsilon^2}{5\psi + 23}$

Кінець таблиці 7.5

Еквівалентний діаметр, d_e, для порожнистих профілів із круглим та еліптичним перерізами
Для порожнистих профілів із круглим перерізом: $d_e = d$
Для порожнистих профілів з еліптичним перерізом: за стиску: $d_e = d_{e,c} = h \left[1 + \left(1 - 2,3 \left(\frac{t}{h} \right)^{0,6} \right) \left(\frac{h}{b} - 1 \right) \right]$ або, із запасом: $d_e = d_{e,c} = \frac{h^2}{b}$ за згину відносно сильної осі: для $h/b \leq 1,36$: $d_e = d_{e,b,y} = \frac{b^2}{h}$; для $h/b > 1,36$: $d_e = d_{e,b,y} = 0,4 \frac{h^2}{b}$ За згину відносно слабкої осі, або стиску та згину відносно слабкої осі: $d_e = d_{e,b,z} = \frac{h^2}{b}$ За стиску та згину відносно сильної осі еквівалентний діаметр, d_e, можна визначити за допомогою лінійної інтерполяції між еквівалентним діаметром за умов стиску, $d_{e,c}$, та діаметром за умов згину відносно сильної осі, $d_{e,b,y}$, як зазначено у формулі нижче: $d_e = d_{e,b,y} + (d_{e,c} - d_{e,b,y})(2\alpha_c - 1)$ для поперечних перерізів класу 1 та 2; $d_e = d_{e,b,y} + (d_{e,c} - d_{e,b,y})\left(\frac{\psi+1}{2}\right)$ для поперечних перерізів класу 3 та 4. За умов стиску та двовісного згину еквівалентний діаметр, d_e, можна прийняти, як описано вище, але з коефіцієнтами α_c та ψ, визначеними з використанням модифікованої поздовжньої сили, яка дорівнює $N_{Ed} + M_{z,Ed} A/W_{pl,z}$ для поперечних перерізів класів 1, 2 та $N_{Ed} + M_{z,Ed} A/W_{el,z}$ для поперечних перерізів класів 3 та 4.

8 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ

8.1 Часткові коефіцієнти

(1) Часткові коефіцієнти, γ_{Mi} , які визначено в 4.4.5(1), застосовують до таких характеристичних значень опору:

– опір поперечних перерізів (незалежно від класу): γ_{M0} ;

– опір втраті стійкості елементів, величину якого визначають під час розрахункового перевіряння елементів: γ_{M1} ;

– опір розриву поперечних перерізів за умов розтягу: γ_{M2} ;

– опір вузлів: див. EN 1993-1-8.

Примітка 1.В Для будівель застосовують наведені нижче часткові коефіцієнти γ_{Mi} , якщо в Національному додатку не наведено інших значень:

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,00 \text{ (якщо прийнято варіант а), зазначений у 5.2.1(1));}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

Примітка 2.В Додаток Е містить інформацію щодо основних положень, застосованих у разі калібрування часткових коефіцієнтів, γ_{Mi} , для будівель.

Примітка 3. Для конструкцій, крім будівель, значення часткових коефіцієнтів, γ_{Mi} , наведено в інших частинах EN 1993, якщо застосовно. Для конструкцій, які не охоплено в стандартах від EN 1993-2 до EN 1993-7⁵, значення часткових коефіцієнтів, γ_{Mi} , наведено в EN 1993-2, якщо в Національному додатку не надано інших значень.

8.2 Опір поперечних перерізів

8.2.1 Загальні положення

(1) Потрібно, щоб розрахункове значення ефекту дії у кожному поперечному перерізі не перевищувало відповідного розрахункового значення опору. Якщо кілька ефектів дії впливають одночасно, то

⁵ EN 1993-7 на етапі розроблення.

потрібно, щоб комбінаційний ефект не перевищував значення опору у цій комбінації.

(2) Ефекти запізнення зсуву та ефекти місцевої втрати стійкості визначають, враховуючи ефективну ширину згідно з EN 1993-1-5. Ефекти втрати стійкості за зсуву також враховують відповідно до EN 1993-1-5.

(3) Розрахункові значення опору визначають, ґрунтуючись на класифікації поперечного перерізу, а також на основі опору в пружній чи пластичній стадіях.

(4) Розрахунок відповідно до опору в пружній стадії можна виконувати для поперечних перерізів усіх класів. У разі поперечних перерізів класу 4 для визначення опору в пружній стадії використовують властивості ефективного поперечного перерізу.

(5) Для пружного розрахунку можна використовувати зазначений для критичної точки поперечного перерізу критерій текучості, який обумовлено у формулі (8.1), якщо не застосовують інших критеріїв взаємодії, див. 8.2.8–8.2.10 та додаток В.

$$\frac{\sigma_{Eq,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \leq 1,0 , \quad (8.1)$$

де

$$\sigma_{Eq,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2}; \quad (8.2)$$

$\sigma_{x,Ed}$ – розрахункове значення поздовжнього нормального напруження в точці, яку розглядають;

$\sigma_{z,Ed}$ – розрахункове значення поперечного нормального напруження в точці, яку розглядають;

τ_{Ed} – розрахункове значення зсувного напруження в точці, яку розглядають.

Примітка. Перевіряння згідно з пунктом (5) можна вважати таким, що виконують із запасом, оскільки з нього вилучено часткове розподілення пластичного напруження.

(6) Розрахунок відповідно до пластичного опору виконують, установлюючи розподіл напруження, що перебуває в рівновазі з внутрішніми зусиллями та моментами без перевищення границі текучості. Рекомендовано, щоб цей розподіл напруження був сумісним із відповідними деформаціями в пластичній стадії.

(7) Як наближене із запасом для поперечних перерізів всіх класів можна використовувати лінійне підсумовування коефіцієнтів використання для кожного інтегрального напруження. Для поперечних перерізів класу 1, 2 чи 3, які розглядають за умов комбінації N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ та $M_{z,Ed}$, цей метод можна застосувати за дотримання відновідності критерію, обумовленого у формулі (8.3):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.3)$$

де

N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ та $M_{z,Rd}$ – розрахункові значення опору, які залежать від класу поперечного перерізу та враховують будь-яке зменшення, що може бути спричинено ефектами зсуву, див. 8.2.8.

Примітка 1. Щодо елементів за умов кручення див. формулу (C.6).

Примітка 2. Щодо поперечних перерізів класу 4 див. 8.2.9.3(2).

(8) Якщо всі стиснуті частини поперечного перерізу віднесено до класу 1 чи 2, то можна вважати, що поперечний переріз придатний повною мірою забезпечити опір згину в пластичній стадії.

(9) Якщо всі стиснуті частини поперечного перерізу віднесено до класу 3, то його опір визначають на основі розподілу напружень у пружній стадії в поперечному перерізі. Напруження стиску обмежують границею текучості на крайніх волокнах.

(10) Для поперечних перерізів класу 3 можна враховувати розвиток часткових пластичних деформацій.

Примітка. Див. 8.2.2.6 та додаток В.

(11) Для поперечних перерізів класу 3, в яких текучість виникає спочатку в розтягнутій частині поперечного перерізу, можна використовувати запас пластичності зони розтягу з урахуванням розвитку часткових пластичних деформацій.

8.2.2 Характеристики перерізу

8.2.2.1 Поперечний переріз брутто

(1) Характеристики поперечного перерізу брутто визначають відповідно до номінальних розмірів. Отвори для кріпильних виробів можна не враховувати, але рекомендовано враховувати прорізи більших розмірів. Матеріали стикових накладок не враховують.

8.2.2.2 Площа нетто

(1) Площу нетто, A_{net} , поперечного перерізу приймають як його площу брутто, відповідно зменшену вирахуванням усіх отворів та прорізів, див. формулу (8.4).

$$A_{\text{net}} = A - \Delta A_{\text{net}}, \quad (8.4)$$

де

A – площа поперечного перерізу брутто;

ΔA_{net} – площа перерізу, яку потрібно вирахувати для вилучення отворів.

(2) Відраховувана чиста площа отвору дорівнює площі поперечного перерізу отвору в площині поперечного перерізу. У разі отворів під кріпильні вироби з потайною головкою передбачають відповідний припуск для потайної частини кріпильного виробу.

(3) Якщо отвори розташовано не в шаховому порядку, то загальну площу, яку має бути відраховано, визначають як максимальну суму площ поперечного перерізу отворів у будь-якому поперечному перерізі, перпендикулярному до осі елемента (див. площину відмови ② на рисунку 8.1).

Примітка. Максимальна сума означає положення критичної лінії злому.

(4) Якщо отвори розташовано в шаховому порядку, то загальна площа, ΔA_{net} , що має бути відрахована, дорівнює більшій із зазначених нижче:

а) відраховувана площа розташованих у шаховому порядку отворів (площина відмови ① на рисунку 8.1)

$$\Delta A_{\text{net},1} = t \left(n_1 d_0 - \sum \frac{s^2}{4p_2} \right); \quad (8.5)$$

б) відраховувана площа розташованих не в шаховому порядку отворів, зазначена в пункті (3) (площина відмови ② на рисунку 8.1)

$$\Delta A_{\text{net},2} = n_2 d_0 t, \quad (8.6)$$

де

s – крок у шаховому порядку, відстань між центрами двох послідовно розташованих отворів у ланцюгу, виміряна паралельно осі елемента;

p_2 – відстань між центрами тих самих двох отворів, виміряна перпендикулярно до осі елемента;

t – товщина;

n_1 – кількість отворів, розташованих по будь-якій діагоналі чи зигзагоподібній лінії, що проходить через елемент або частину елемента, див. площину відмови ① на рисунку 8.1;

n_2 – кількість отворів у перерізі, розташованих не в шаховому порядку; див. площину відмови ② на рисунку 8.1;

d_0 – діаметр отвору.

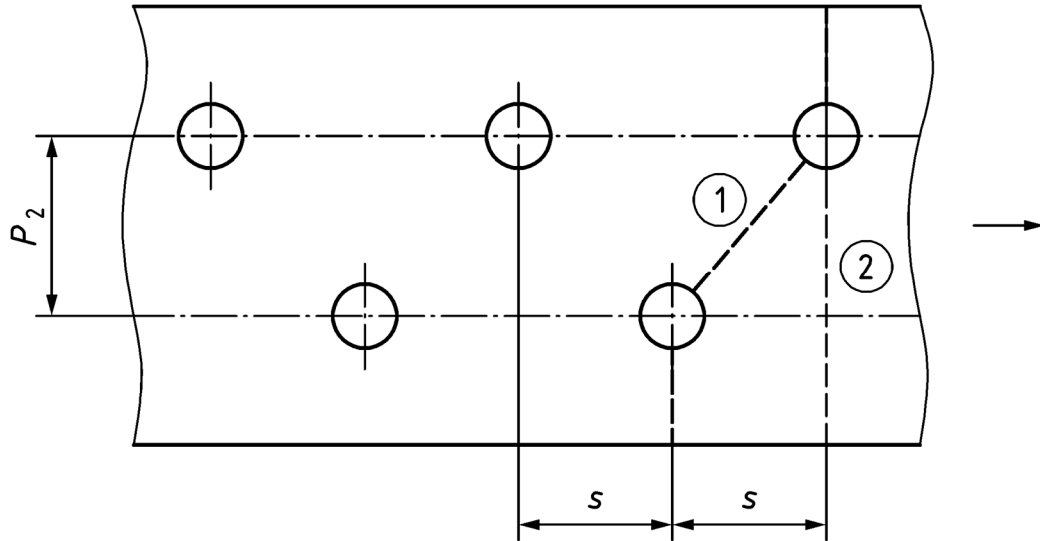


Рисунок 8.1 – Отвори, розташовані в шаховому порядку, і критичні лінії злому 1 та 2

(5) У кутику чи іншому елементі з отворами в більш ніж одній площині відстань, p , вимірюють уздовж серединної лінії за товщиною матеріалу (див. рис. 8.2).

Примітка. Докладнішу інформацію щодо перевірення перерізу нетто кутиків наведено в EN 1993-1-8.

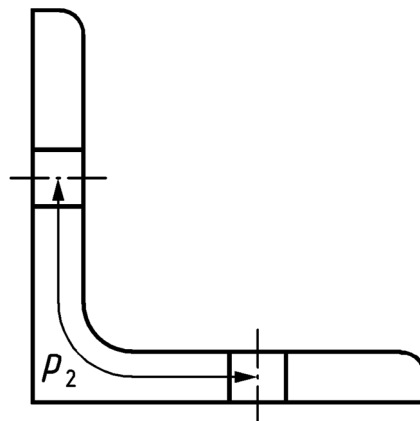


Рисунок 8.2 – Куттик з отворами в обох полицях

8.2.2.3 Ефекти запізнення зсуву

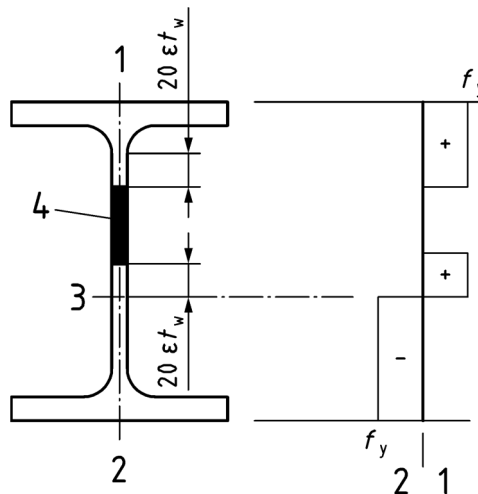
(1) Ефект запізнення зсуву враховують обчисленням ефективної ширини згідно з EN 1993-1-5.

(2) У перерізах класу 4 взаємодію між запізненням зсуву та місцевою втратою стійкості розглядають відповідно до EN 1993-1-5.

Примітка. Щодо холодноформованих елементів (крім конструкційних порожнистих профілів згідно з EN 10219 (усі частини)) див. EN 1993-1-3.

8.2.2.4 Ефективні характеристики поперечних перерізів зі стінками класу 3 та полицями класу 1 чи 2

(1) Як альтернативний варіант щодо додатка В, у разі поперечних перерізів зі стінкою класу 3 та полицями класу 1 чи 2, класифікованих як ефективний поперечний переріз класу 2, див. 7.5.2(11), ефективні характеристики поперечного перерізу визначають, замінюючи стиснуту частину стінки на ефективну частину $20\epsilon t_w$, прилеглу до стиснутої полиці, та на іншу частину $20\epsilon t_w$, прилеглу до нейтральної осі пластичності ефективного поперечного перерізу згідно з рисунком 8.3.



Умовні позначки:

- | | |
|-------------|-----------------------------------|
| 1 – стиск; | 3 – нейтральна вісь пластичності; |
| 2 – розтяг; | 4 – невраховуване |

Рисунок 8.3 – Ефективний поперечний переріз стінки класу 2

8.2.2.5 Характеристики ефективного поперечного перерізу класу 4

(1) Характеристики ефективного поперечного перерізу класу 4 визначають, ґрунтуючись на ефективній ширині стиснутих частин.

Примітка. Щодо холодноформованих профілів (крім конструкційних порожнистих профілів згідно з EN 10219 (усі частини)) див. EN 1993-1-3.

(2) Ефективну ширину плоских стиснутих частин визначають згідно з EN 1993-1-5.

(3) Якщо поперечний переріз класу 4 піддають дії поздовжньої стискальної сили, N_{Ed} , використовують викладений в EN 1993-1-5 метод, щоб визначити можливий зсув, e_N , центру ваги ефективної площі, A_{eff} , відносно центру ваги поперечного перерізу брутто та спричиненого цим додаткового моменту:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_N \quad (8.7)$$

Примітка. Знак додаткового моменту залежить від ефекту комбінації внутрішніх зусиль та моментів, див. 8.2.9.3(2).

(4) У разі порожнистих профілів із круглим чи еліптичним поперечним перерізом класу 4, які відповідають EN 10210 (усі частини) та EN 10219 (усі частини), за умов стиску ефективну площу поперечного перерізу, A_{eff} , можна визначити, використовуючи еквівалентний діаметр, d_e , згідно з таблицею 7.5 та товщину, t , як зазначено нижче:

$$A_{eff} = A \sqrt{\frac{90\varepsilon^2}{d_e/t}} \quad \text{за умови } d_e/t \leq 240\varepsilon^2 \quad (8.8)$$

(5) У разі порожнистих профілів із круглим чи еліптичним поперечним перерізом класу 4, які відповідають EN 10210 (усі частини) та EN 10219 (усі частини), за умов згину момент опору ефективного

перерізу, W_{eff} , можна визначити, використовуючи еквівалентний діаметр, d_e , згідно з таблицею 7.5 та товщину, t , як зазначено нижче:

$$W_{\text{eff}} = W_{\text{el}} \sqrt[4]{\frac{140\varepsilon^2}{d_e/t}} \quad \text{за умови } d_e/t \leq 240\varepsilon^2 \quad (8.9)$$

(6) Порожністі профілі з круглим чи еліптичним поперечним перерізом, що перевищують граничне значення d_e/t , зазначене в пунктах (4) та (5), розраховують згідно з EN 1993-1-6. Клас якості за допуском на виготовлення обирають на основі допусків на виготовлення, зазначених у відповідному стандарті на порожнистий профіль.

Примітка. EN 1993-1-6 не містить посилань на класи поперечних перерізів та ефективні поперечні перерізи, але згідно з цим стандартом допустимо перевіряння порожнистого профілю як оболонкової конструкції залежно від визначених класів якості за допуском на виготовлення.

8.2.2.6 Характеристики поперечного перерізу, пов'язані з характеристичним опором

(1) Характеристичний опір поздовжній силі, N_{Rk} , та характеристичний опір згинальному моменту, M_{Rk} , визначають, використовуючи характеристики поперечного перерізу з таблиці 8.1 відповідно до класу поперечного перерізу, як зазначено нижче:

$$N_{\text{Rk}} = A_i f_y ; \quad (8.10)$$

$$M_{y,\text{Rk}} = W_y f_y ; \quad (8.11)$$

$$M_{z,\text{Rk}} = W_z f_y \quad (8.12)$$

Таблиця 8.1 – Характеристики перерізу відповідно до класу поперечного перерізу

Клас	1	2	3	4
Площа перерізу, A_i	A	A	A	A_{eff}
Момент опору перерізу, W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}^{a,b}$	$W_{eff,y}^b$
Момент опору перерізу, W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}^{a,b}$	$W_{eff,z}^b$
^a Як альтернативний варіант, можна використовувати $W_{ep,y}$ чи $W_{ep,z}$, див. додаток В. ^b Момент опору перерізу в пружній стадії відповідає крайньому волокну (металу) за максимального напруження в пружній стадії.				

8.2.3 Розтяг

(1) Розрахункове значення поздовжньої сили розтягу, N_{Ed} , у кожному поперечному перерізі має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.13):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.13)$$

де $N_{t,Rd}$ – розрахунковий опір розтягу, прийнятий, як зазначено нижче.

(2) Розрахунковий опір розтягу поперечного перерізу брутто, $N_{t,Rd}$, приймати як:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \quad (8.14)$$

(3) Для поперечних перерізів з отворами розрахункове значення опору розтягу, $N_{t,Rd}$, приймають як менше з таких значень:

а) розрахункове значення опору в пластичній стадії, $N_{pl,Rd}$, поперечного перерізу брутто згідно з формулою (8.14);

б) граничне розрахункове значення опору поперечного перерізу нетто з урахуванням отворів:

$$N_{u,Rd} = \frac{k A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (8.15)$$

де

$k = 1,0$ для профілів, в яких отвори з гладкою внутрішньою поверхнею (тобто, без щербин), наприклад, отвори, виконані свердлінням чи водоструменевим різанням;

$k = 0,9$ для профілів, в яких отвори з шорсткою внутрішньою поверхнею (тобто, із щербинами), наприклад, отвори, виконані пробивання чи газополуменевим різанням;

$k = 0,9$ для конструкцій, які піддано втомі.

(4) За потреби виконання вичерпного проєктування згідно з EN 1998 (див. 3.1.10), розрахункове значення опору в пластичній стадії, $N_{pl,Rd}$, поперечного перерізу бруто приймають меншим за розрахункове граничне значення опору поперечного перерізу нетто з урахуванням отворів, $N_{u,Rd}$. Для цілей вичерпного проєктування сталі марок вище S460 не використовують.

(5) Для з'єднань категорії C згідно з EN 1993-1-8 розрахункове значення опору розтягу, $N_{t,Rd}$, поперечного перерізу нетто з урахуванням отворів для кріпильних виробів приймають як $N_{net,Rd}$ за формулою (8.16):

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8.16)$$

Примітка. Щодо кутиків, з'єднаних одним катетом, та інших асиметрично з'єднаних елементів, що зазнають розтягу, див. EN 1993-1-8.

8.2.4 Стиск

(1) Розрахункове значення стискальної поздовжньої сили, N_{Ed} , на кожному поперечному перерізі має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.17):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (8.17)$$

(2) Розрахункове значення опору поперечного перерізу у разі рівномірного стиску, $N_{c,Rd}$, приймають як:

$$N_{c,Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}, \quad (8.18)$$

де

N_{Rk} – характеристичний опір поздовжній силі згідно з 8.2.2.6.

(3) Отвори для кріпильних виробів, за винятком отворів збільшеного розміру та щілинних прорізів, які визначено в EN 1090-2, у стиснутих елементах можна не враховувати, якщо їх заповнено кріпильними виробами.

(4) У разі асиметричних поперечних перерізів класу 4 використовують метод, викладений у 8.2.9.3, для врахування додаткового моменту, ΔM_{Ed} , спричиненого ексцентриситетом осі центру ваги ефективного поперечного перерізу, див. 8.2.2.5(3).

8.2.5 Згин

(1) Розрахункове значення згинального моменту, M_{Ed} , у кожному поперечному перерізі має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.19):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.19)$$

де $M_{c,Rd}$ визначають з урахуванням отворів для кріпильних виробів, див. підпункти (4)–(6).

(2) Розрахунковий опір згинальному моменту поперечного перерізу за умов згину відносно однієї головної осі, $M_{c,Rd}$, обчислюють за формулою (8.20):

$$M_{c,Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}}, \quad (8.20)$$

де

M_{Rk} – характеристичне значення опору згинальному моменту згідно з 8.2.2.6 за згину відносно відповідної осі

(4) Отвори в розтягнутій полиці можна не враховувати, якщо для розтягнутої полиці дотримано критерій, обумовлений у формулі (8.21):

$$\frac{A_{t,net} k f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_t f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (8.21)$$

де

k – визначено в 8.2.3(2);

$A_{t,net}$ – площа нетто розтягнутої полиці;

A_t – площа розтягнутої полиці.

Примітка. Критерій, обумовлений у (4), забезпечує досягнення цілей вичерпного проєктування (див. 3.1.10).

(5) Отвори в зоні розтягу стінки можна не враховувати, якщо наведену в (4) граничну умову дотримано для всієї зони розтягу, що охоплює розтягнуту полицю плюс зону розтягу стінки.

(6) Отвори для кріпильних виробів, за винятком отворів збільшеного розміру та прорізів у зоні стиску поперечного перерізу, можна не враховувати за умови, що їх заповнено кріпильними виробами.

8.2.6 Зсув

(1) Розрахункове значення зсувної сили, V_{Ed} , прикладеної до кожного поперечного перерізу, має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.22):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.22)$$

де

$V_{c,Rd}$ – розрахунковий опір зсуву. Для пластичного розрахунку $V_{c,Rd}$ є розрахунковим значенням опору зсуву в пластичній стадії, $V_{pl,Rd}$.

Для розрахунку в пружній стадії перевіряння поперечного перерізу виконують, використовуючи критерій щодо текучості, зазначений в (4) та (5).

(2) За відсутності кручення розрахункове значення опору зсуву в пластичній стадії, $V_{pl,Rd}$, обчислюють за формулою (8.23):

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}, \quad (8.23)$$

де A_v – площа зсуву.

(3) Залежно від профілю, площу зсуву, A_v , можна прийняти так:

а) у прокатаних подвійно-симетричних двотаврових профілях з І-подібним та Н-подібним перерізами в разі навантаження, прикладеного паралельно стінці:

$$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f, \text{ але щонайменше } \eta h_w t_w;$$

б) у прокатаних подвійно-симетричних двотаврових профілях з І-подібним та Н-подібним перерізами в разі навантаження, прикладеного паралельно полицям: $2bt_f$;

с) у прокатних швелерах у разі навантаження, прикладеного паралельно стінці: $A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$;

д) у профілях із Т-подібним перерізом у разі навантаження, прикладеного паралельно стінці:

$$- \text{ для прокатного таврового профілю: } A - bt_f + (t_w + 2r)\frac{t_f}{2};$$

– для зварного таврового профілю: $t_w \left(h - \frac{t_f}{2} \right)$;

е) у зварних двотаврових профілях з І-подібним, Н-подібним перерізами та коробчастих профілях, у разі навантаження, прикладеного паралельно стінці: $\eta \sum (h_w t_w)$;

ф) у зварних двотаврових профілях з І-подібним, Н-подібним перерізами, швелерах та коробчастих профілях у разі навантаження, прикладеного паралельно полицям: $A - \sum (h_w t_w)$;

г) у порожнистих профілях із прямокутним перерізом із постійною товщиною:

– у разі навантаження, прикладеного паралельно напрямку висоти (поперечного перерізу): $A h / (b + h)$;

– у разі навантаження, прикладеного паралельно напрямку ширини: $A b / (b + h)$;

h) у порожнистих профілях із круглим перерізом і трубах із постійною товщиною: $2A / \pi$;

і) у порожнистих профілях з еліптичним перерізом із постійною товщиною:

– у разі навантаження, прикладеного паралельно напрямку висоти: $2(h - t)t$;

– у разі навантаження, прикладеного паралельно напрямку ширини: $2(b - t)t$,

де

A – площа поперечного перерізу;

b – загальна ширина;

h – загальна висота;

h_w – висота стінки, виміряна між полицями, див. рисунок 3.1;

r – радіус заокруглення западини на стику полиці зі стінкою;

t_f – товщина полиці;

t_w – товщина стінки (якщо товщина стінки непостійна, то як значення t_w приймають мінімальну товщину);

t – товщина порожнистого профілю;

η – див. EN 1993-1-5.

Примітка. Значення η із запасом може бути прийнято як таке, що дорівнює 1,0.

(4) Для пружного розрахунку стосовно критичної точки поперечного перерізу можна використовувати критерій щодо текучості, обумовлений у формулі (8.24), якщо не потрібно перевіряння щодо втрати стійкості за зсуву згідно з EN 1993-1-5:

$$\frac{\tau_{Ed}}{(f_y/\sqrt{3})\gamma_{M0}} \leq 1,0 \quad (8.24)$$

Розрахункове значення зсувного напруження, τ_{Ed} , можна розрахувати за допомогою формули (8.25):

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}S}{It}, \quad (8.25)$$

де

V_{Ed} – розрахункове значення зсувної сили;

S – статичний момент відносно осі центра ваги частини поперечного перерізу між точкою перевіряння, в якій розраховують напруження зсуву, та межею поперечного перерізу;

I – момент інерції всього поперечного перерізу;

t – товщина в точці перевіряння.

Примітка. Перевіряння згідно з підпунктом (4) може бути виконано з запасом, оскільки з нього вилучено часткове розподілення зсуву в пластичній стадії, що допустимо в пружному розрахунку.

(5) Для профілів з І-подібними чи Н-подібними перерізами розрахункове значення зсувного напруження, τ_{Ed} , у стінці можна розрахувати за допомогою формули (8.26):

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ за умови } A_f/A_w \geq 0,6, \quad (8.26)$$

де

A_f – площа одної полиці;

A_w – площа стінки: $A_w = h_w t_w$.

(6) Опір втраті стійкості за зсуву для стінок без проміжних елементів жорсткості визначають згідно з EN 1993-1-5, якщо гнучкість стінки є такою, до якої застосовують умову, зазначену в формулі (8.27):

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (8.27)$$

Щодо значення η див. у EN 1993-1-5. Стосовно критерію, обумовленого у формулі (8.27), можна припустити, що $\eta = 1,2$.

Примітка. Стосовно опору до втрати стійкості за зсуву в EN 1993-1-5 розглянуто панелі, що обпираються лише на чотири кромки.

(7) Для порожнистого профілю з круглим чи еліптичним поперечним перерізом із постійною товщиною опір втраті стійкості за зсуву визначають згідно з EN 1993-1-6 (див. також 8.2.2.5(6)), якщо:

– $(d - t)/t > 100\varepsilon^2$ у разі порожнистого профілю з круглим поперечним перерізом;

– $(h - t)/t > 100\varepsilon^2$ у разі порожнистого профілю з еліптичним поперечним перерізом, навантаженим у напрямку паралельно висоті;

– $(b - t)/t > 100\varepsilon^2$ у разі порожнистого профілю з еліптичним поперечним перерізом, навантаженим у напрямку паралельно ширині.

(8) Отвори для кріпильних виробів враховують у разі перевіряння розрахункової втрати стійкості за зсуву в зонах з'єднання згідно з EN 1993-1-8, але в інших місцях їх можна не враховувати.

8.2.7 Кручення

(1) Загальний внутрішній крутильний момент, T_{Ed} , у будь-якому поперечному перерізі враховують як суму двох складників, як зазначено у формулі (8.28):

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed}, \quad (8.28)$$

де

$T_{t,Ed}$ – розрахункове значення внутрішнього крутильного моменту за Сен-Венаном;

$T_{w,Ed}$ – розрахункове значення внутрішнього крутильного моменту деформації.

(2) Значення $T_{t,Ed}$ та $T_{w,Ed}$ у будь-якому поперечному перерізі можна визначити за допомогою пружного розрахунку з урахуванням властивостей перерізу елемента, умов закріплення на опорах та розподілення дій уздовж елемента.

(3) Для пружного розрахунку елементів, що сприймають крутильний момент, можна застосовувати критерій, обумовлений у 8.2.1(5).

Враховують такі напруження, спричинені крученням:

- поздовжні напруження, $\sigma_{w,Ed}$, внаслідок дії бімоменту, B_{Ed} ;
- зсувні напруження, $\tau_{t,Ed}$, внаслідок кручення за Сен-Венаном, $T_{t,Ed}$;
- зсувні напруження, $\tau_{w,Ed}$, внаслідок кручення за умов деформації, $T_{w,Ed}$.

(4) Для спрощення, у разі елемента з порожнистим поперечним перерізом можна знехтувати ефектами деформації за умов кручення. Крім того, для спрощення, у разі елемента з відкритим поперечним перерізом, наприклад, двотавровим І-подібним чи Н-подібним, можна не враховувати ефекти кручення за Сен-Венаном.

(5) Перевіряння поперечного перерізу класу 1 чи класу 2 може стосуватися його опору в пластичній стадії, а бімомент, B_{Ed} , можна отримати з результатів пружного розрахунку, див. підпункт (2).

(6) Для визначення опору поперечного перерізу щодо дії моменту в пластичній стадії внаслідок згину та кручення з пружного розрахунку виводять лише ефекти кручення, B_{Ed} , див. (3).

(7) У разі симетричних двотаврових профілів з І-подібними поперечними перерізами класу 1 чи класу 2 за умов згину відносно головної осі розрахункове значення опору згинальному моменту в пластичній стадії, $M_{c,B,Rd}$, зменшене на бімомент, B_{Ed} , можна обчислити за формулою (8.29):

$$M_{c,B,Rd} = \sqrt{1 - \frac{B_{Ed}}{B_{Rd}}} M_{pl,Rd} , \quad (8.29)$$

де

B_{Ed} – розрахункове значення бімоменту за дотримання умови:

$$B_{Ed} \leq B_{Rd};$$

B_{Rd} – розрахункове значення опору щодо бімоменту в пластичній стадії;

$$B_{Rd} = \frac{W_{pl,B} f_y}{\gamma_{M0}} ;$$

$W_{pl,B}$ – момент опору перерізу в пластичній стадії під час опору щодо бімоменту в пластичній стадії;

Примітка. У разі подвійно-симетричних двотаврових І-подібних та Н-подібних перерізів: $W_{pl,B} = 0,25 t_f b^2 (h - t_f)$.

(8) Якщо втрату стійкості за зсуву вважають такою, що доцільно врахувати, то для перевіряння опору порожнистих профілів із замкнутим перерізом беруть до уваги розрахунковий опір зсуву окремих частин поперечного перерізу згідно з EN 1993-1-5.

(9) Якщо крутильний момент поєднують у комбінації із зсувною силою, то опір зсуву в пластичній стадії зменшують від $V_{pl,Rd}$ до $V_{pl,T,Rd}$, забезпечуючи розрахункове значення зсувної сили таке, що задовольняє критерій:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.30)$$

згідно з яким $V_{pl,T,Rd}$ приймають як:

– для двотаврових профілів з І-подібним чи Н-подібним перерізом:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}; \quad (8.31)$$

– для швелерів:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd}; \quad (8.32)$$

– для конструкційного порожнистого профілю:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} \quad (8.33)$$

8.2.8 Комбінація згину та зсуву

(1) За наявності згинального моменту та зсувної сили враховують ефект, спричинений зсувною силою, що впливає на опір згинальному моменту поперечного перерізу.

(2) Розрахункове значення згинального моменту, M_{Ed} , у кожному поперечному перерізі має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.34):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{V,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.34)$$

де

$M_{V,Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту в пластичній стадії, зменшеного внаслідок дії зсувної сили, V_{Ed} .

(3) Ефект зсувної сили, V_{Ed} , що впливає на розрахунковий опір згинальному моменту, $M_{c,Rd}$, можна не враховувати, якщо дотримано умови, зазначеної у формулі (8.35):

$$V_{Ed} \leq \eta_v V_{pl,Rd} \quad (8.35)$$

Щодо ситуації, в якій втрата стійкості за зсуву зменшує опір перерізу, див. 8.2.6(6), 8.2.6(7) та EN 1993-1-5.

Примітка. Значення η_v приймають як таке, що дорівнює 0,5, якщо в Національному додатку не наведено іншого значення, що залежить від типу профілю. Може бути наведено відповідні модифіковані значення ρ , застосовні у формулах (8.37), (8.40) та (8.61).

(4) У всіх інших ситуаціях приведений розрахунковий опір поперечного перерізу згинальному моменту за умов комбінації згинального моменту та зсувної сили приймають як розрахунковий опір поперечного перерізу згинальному моменту, визначений із застосуванням зменшеної границі текучості, $f_{y,red}$, щодо площі поперечного перерізу, на яку впливає зсув:

$$f_{y,red} = (1 - \rho) f_y, \quad (8.36)$$

де

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2; \quad (8.37)$$

$V_{c,Rd}$ – приймають як $V_{pl,Rd}$, визначене згідно з 8.2.6(2).

Для порожнистих профілів із круглим та еліптичним поперечними перерізами з постійною товщиною зменшену границю текучості, $f_{y,red}$, визначену згідно з формулою (8.36), застосовують до повної площі поперечного перерізу.

(5) Для цілей розрахунку, замість зменшення границі текучості, можна зменшити товщину пластини відповідної частини поперечного перерізу.

(6) За наявності кручення $V_{c,Rd}$ приймають як $V_{pl,T,Rd}$ згідно з 8.2.7.

(7) У разі двотаврових профілів з I-подібним перерізом класу 1 та класу 2, за наявності кручення, зменшений розрахунковий опір моменту в пластичній стадії, $M_{B,V,Rd}$, приймають як розрахунковий опір поперечного перерізу, обчислений із застосуванням зменшеної границі текучості, $f_{y,red}$, як зазначено нижче:

$$f_{y,red} = (1 - \rho) f_y \frac{M_{B,Rd}}{M_{c,Rd}} \quad \text{для поперечного перерізу, на який впливає зсув} \quad (8.38)$$

$$f_{y,red} = f_y \frac{M_{B,Rd}}{M_{c,Rd}} \quad \text{для решти поперечних перерізів} \quad (8.39)$$

де

$M_{B,Rd}$ наведено в 8.2.7(7). За відсутності деформаційного кручення: $M_{B,Rd} = M_{c,Rd}$;

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2 \quad \begin{array}{l} \text{див. 8.2.7, але це значення приймають як таке,} \\ \text{що дорівнює 0, за умови } V_{Ed} \leq \eta_V V_{pl,T,Rd}, \end{array} \quad (8.40)$$

де η_V наведено в 8.2.8(3).

(8) Як альтернативний варіант, для подвійно-симетричних двотаврових профілів з I-подібними поперечними перерізами класу 1 та класу 2 за умов згину відносно великої осі у-у приведений

розрахунковий опір дії моменту в пластичній стадії з урахуванням зсувної сили та бімоменту можна отримати так:

$$M_{y,B,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl,y} - \rho \frac{t_w h_w^2}{4}\right) f_y}{\gamma_{M0}} \frac{M_{y,B,Rd}}{M_{c,y,Rd}}, \quad \text{але } M_{y,B,V,Rd} \leq M_{y,B,Rd}, \quad (8.41)$$

де

$M_{c,y,Rd}$ отримано згідно з 8.2.5(2);

$M_{y,B,Rd}$ отримано згідно з 8.2.7(7).

Якщо кручення за деформації немає, то:

$$M_{y,B,Rd} = M_{c,y,Rd} \quad (8.42)$$

Примітка. Щодо взаємодії згину, зсуву та поперечних навантажень див. 8.2.11.

8.2.9 Комбінація згину та поздовжньої сили

8.2.9.1 Поперечні перерізи класу 1 та класу 2

(1) За наявності згинального моменту та поздовжньої сили враховують ефект від поздовжньої сили, що впливає на опір згинальному моменту в пластичній стадії.

(2) Для поперечних перерізів класу 1 та класу 2 розрахункове значення згинального моменту, M_{Ed} , у кожному поперечному перерізі має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.43):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.43)$$

де

$M_{N,Rd}$ – розрахункове значення опору згинальному моменту в пластичній стадії, зменшеного внаслідок дії поздовжньої сили, N_{Ed} .

(3) У разі суцільного профілю з прямокутним перерізом без отворів для кріпильних виробів $M_{N,Rd}$ визначають за формулою (8.44):

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[1 - \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right] \quad (8.44)$$

(4) У разі подвійно-симетричних двотаврових профілів з І-подібними та Н-подібними перерізами чи інших профілів із полицями ефектом від поздовжньої сили щодо опору згинальному моменту відносно осі у-у в пластичній стадії можна знехтувати, якщо дотримано обидві зазначені нижче умови:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad (8.45)$$

та

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8.46)$$

У разі подвійно-симетричних двотаврових профілів з І-подібними та Н-подібними перерізами ефектом від поздовжньої сили щодо опору згинальному моменту відносно осі z-z в пластичній стадії можна знехтувати, якщо дотримано умову, зазначену в формулі (8.47):

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (8.47)$$

(5) У разі подвійно-симетричних двотаврових профілів з І-подібними та Н-подібними перерізами, в яких отвори можна не враховувати, $M_{N,Rd}$ можна прийняти як:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a}, \quad \text{але } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}; \quad (8.48)$$

$$\text{у разі } n \leq a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}; \quad (8.49)$$

$$\text{у разі } n > a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right], \quad (8.50)$$

де

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd};$$

$$a = (A - 2bt_f) / A, \text{ але } a \leq 0,5.$$

(6) Для порожнистих профілів із прямокутними перерізами з постійною товщиною, в яких отвори можна не враховувати, та для зварних коробчастих профілів із однаковими полицями та однаковими стінками, в яких отвори можна не враховувати, $M_{N,Rd}$ можна прийняти, як зазначено нижче:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a_w}, \quad \text{але } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}; \quad (8.51)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a_f}, \quad \text{але } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}, \quad (8.52)$$

де

$$a_w = (A - 2bt)/A, \quad \text{але } a_w \leq 0,5 \text{ для порожнистих профілів};$$

$$a_w = (A - 2bt_f)/A, \quad \text{але } a_w \leq 0,5 \text{ для зварних коробчастих профілів};$$

$$a_f = (A - 2ht)/A, \quad \text{але } a_f \leq 0,5 \text{ для порожнистих профілів};$$

$$a_f = (A - 2ht_w)/A, \quad \text{але } a_f \leq 0,5 \text{ для зварних коробчастих профілів}.$$

(7) У разі поперечних перерізів, в яких отвори для кріпильних виробів можна не враховувати, для порожнистих профілів із круглими перерізами з постійною товщиною можна використати наближення, зазначене у формулі (8.53):

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n^{1,7}) \quad (8.53)$$

(8) У разі поперечних перерізів, в яких отвори для кріпильних виробів можна не враховувати, для порожнистих профілів з еліптичними перерізами з постійною товщиною можна використати наближення, зазначене у формулах (8.54) та (8.55):

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n^{1,7}); \quad (8.54)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n^{1,7})^{1,18} \quad (8.55)$$

(9) У разі двовісного згину дотримують критерію, обумовленого у формулі (8.56):

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^{\alpha_y} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{\alpha_z} \leq 1, \quad (8.56)$$

в якій α_y та α_z можна прийняти, як зазначено нижче:

– для двотаврових профілів з І-подібними та Н-подібними перерізами:

$$\alpha_y = 2; \alpha_z = 5n, \text{ але } \alpha_z \geq 1;$$

– для порожнистих профілів із прямокутним перерізом:

$$\alpha_y = \alpha_z = \frac{1,66}{1 - 1,13n^2} \text{ за умови } n \leq 0,8;$$

$$\alpha_y = \alpha_z = 6 \text{ за умови } n > 0,8;$$

– для порожнистих профілів із круглим перерізом:

$$\alpha_y = 2; \alpha_z = 2;$$

– для порожнистих профілів з еліптичним перерізом:

$$\alpha_y = 2; \alpha_z = 1,7;$$

де

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd};$$

α_y та α_z із запасом можна прийняти як такі, що дорівнюють 1,0.

8.2.9.2 Поперечні перерізи класу 3

(1) За відсутності зсувного напруження максимальне значення нормального повздовжнього напруження, $\sigma_{x,Ed}$, для поперечних перерізів класу 3 має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.57):

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (8.57)$$

де

$\sigma_{x,Ed}$ – розрахункове значення поздовжнього нормального напруження, спричиненого дією моменту та поздовжньої сили, з урахуванням отворів для кріпильних виробів, якщо застосовно, див. 8.2.3, 8.2.4 та 8.2.5.

(2) Як альтернативний варіант, у разі подвійно-симетричних двотаврових профілів і І-подібними чи Н-подібними перерізами класу 3, порожнистих профілів та зварних двотаврових коробчастих профілів із подвійно-симетричними перерізами, в яких можна не враховувати отвори для кріпильних виробів, можна врахувати опір згинальному моменту в пружно-пластичній стадії. У цьому разі застосовують правила, викладені в додатку В.

8.2.9.3 Поперечні перерізи класу 4

(1) За відсутності зсувного напруження максимальне значення поздовжнього нормального напруження, $\sigma_{x,Ed}$, для поперечних перерізів класу 4 має задовольняти критерій, обумовлений у формулі (8.58):

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (8.58)$$

де

$\sigma_{x,Ed}$ – розрахункове значення поздовжнього нормального напруження внаслідок дії згинальних моментів та поздовжньої сили, визначене за використання властивостей ефективного поперечного перерізу (див. 8.2.2.5), з урахуванням отворів для кріпильних виробів, якщо застосовно, див. 8.2.3, 8.2.4 та 8.2.5.

(2) Як альтернативний варіант, можна використати спрощений критерій, обумовлений у формулі (8.59):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_y}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_z}{M_{z,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.59)$$

де

N_{Rd} – розрахункове значення опору поздовжній силі, розраховане за використання ефективної площі поперечного перерізу, підданої лише рівномірному стиску, див. 8.2.2.6(1);

$M_{y,Rd}$ та $M_{z,Rd}$ – розрахункові значення опору згину, розраховані за використання моменту опору ефективного перерізу (що відповідає волокну з максимальним напруженням у пружній стадії), щодо поперечного перерізу, який піддано дії лише моменту відносно сильної осі та слабкої осі відповідно, див. 8.2.2.6(1);

ΔM_y та ΔM_z – додаткові згинальні моменти відносно сильної осі та слабкої осі, відповідно, внаслідок зсуву осі центру ваги за умови, коли поперечний переріз піддано лише стиску, див. 8.2.2.5(3).

Примітка. Знаки N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ та ΔM_i залежать від комбінації відповідних нормальних напружень.

8.2.10 Комбінація згину, зсуву та поздовжньої сили

(1) За наявності згинального моменту, зсувної сили та поздовжньої сили враховують ефект як зсувної, так і поздовжньої сили стосовно опору поперечного перерізу згинальному моменту.

(2) Ефект зсувної сили, V_{Ed} , стосовно значень опору, обчислених для згинальної та поздовжньої сил згідно з 8.2.9, можна не враховувати, якщо дотримано умову, зазначену в формулі (8.35), за винятком ситуацій, в яких втрата стійкості за зсуву зменшує опір перерізу, див. EN 1993- 1-5 (щодо порожнистих профілів із круглими чи еліптичними поперечними перерізами див. EN 1993-1-6).

(3) У всіх інших ситуаціях приведений розрахунковий опір поперечного перерізу згинальному моменту в комбінації згинального моменту, зсувної сили та поздовжньої сили визначають за використання зменшеної границі текучості, $f_{y,red}$, за допомогою

формули (8.60) для площі поперечного перерізу, на яку впливає зсув, у разі визначення опору в комбінації дій згинального моменту та поздовжньої сили:

$$f_{y,red} = (1 - \rho) f_y, \quad (8.60)$$

де

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2; \quad (8.61)$$

$V_{c,Rd}$ приймають як $V_{pl,Rd}$, отримане згідно з 8.2.6(2).

Для порожнистих профілів із круглими та еліптичними поперечними перерізами постійної товщини розрахункове значення опору поперечного перерізу за комбінованої дії згинального моменту та поздовжньої сили визначають за використання зменшеної границі текучості, $f_{y,red}$, згідно з формулою (8.60) для повної площі поперечного перерізу.

(4) Замість зменшення границі текучості, може бути зменшено товщину пластини відповідної частини поперечного перерізу.

(5) За наявності кручення $V_{c,Rd}$ приймають як $V_{pl,T,Rd}$, визначене згідно з 8.2.7.

8.2.11 Опір поперечним силам

(2)В Як спрощений метод, застосовний до елемента конструкції в будівлі, у разі поперечної сили, прикладеної лише до однієї полиці, якщо дотримано зазначеної умови у формулі (8.62) та критерію у формулі (8.63):

$$F_{z,Ed} \leq 534 \varepsilon^2 \frac{t_w^3}{d_w} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}; \quad (8.62)$$

$$M_{Ed} \leq M_{el,y,Rd}, \quad (8.63)$$

опір непідкріпленої стінки щодо дії розрахункової поперечної сили, $F_{z,Ed}$, можна перевірити, використовуючи критерій, обумовлений у формулі (8.64):

$$\frac{F_{z,Ed}}{k_w F_{z,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.64)$$

де

$k_w = 1,0$ у разі $|\sigma_{com,Ed}| \leq 0,7 \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ або $F_{z,Ed}$, застосованої до розтягнутої полиці;

$k_w = 1,7 - \frac{|\sigma_{com,Ed}|}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}$ у разі $V_{Ed} \leq F_{z,Rd}$ та $F_{z,Ed}$, застосованої до стиснутої полиці;

$k_w = 3,33 \cdot \left(1 - \frac{|\sigma_{com,Ed}|}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}\right)$ у разі $V_{Ed} > F_{z,Rd}$ та $F_{z,Ed}$, застосованої до стиснутої полиці;

$\sigma_{com,Ed}$ – розрахункове значення поздовжнього напруження стиску, σ_x , у стінці на кінці стиків сполучних поверхонь чи лицьових поверхонь зварних швів, безпосередньо підданих дії поперечної сили, $F_{z,Ed}$;

d_w – висота стінки між стиками сполучних поверхонь чи лицьовими поверхнями зварних швів, див. рисунок 8.4;

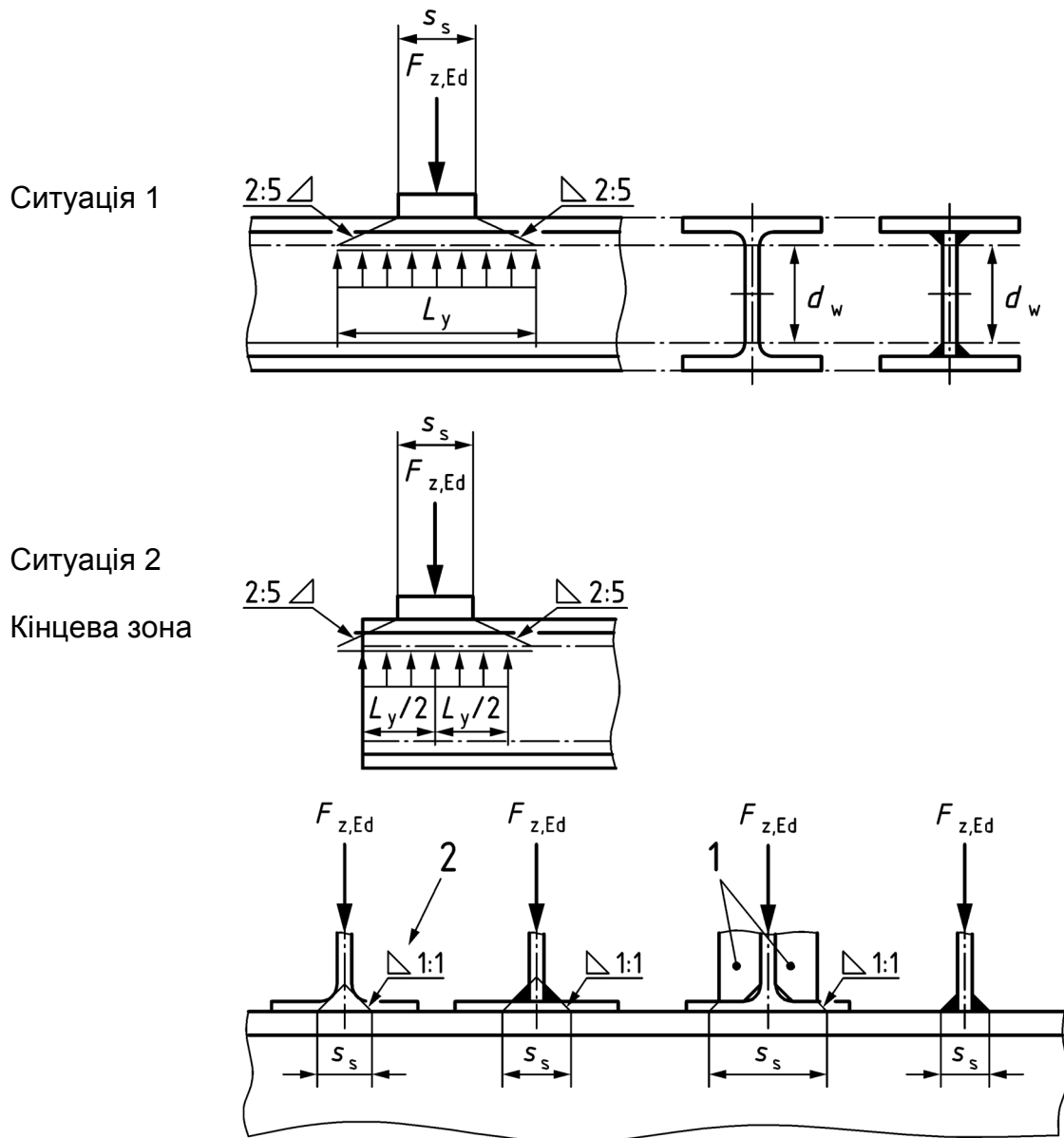
$F_{z,Rd}$ – розрахунковий опір поперечній силі непідкріпленої стінки:

$$F_{z,Rd} = \frac{\ell_y t_w f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (8.65)$$

ℓ_y – ефективна довжина, застосовна до опору поперечним силам, визначена відповідно до довжини жорсткої опорної частини, s_s , див. рисунок 8.4;

V_{Ed} – розрахункове значення поперечної сили в перерізі, до якого прикладено поперечну силу $F_{z,Ed}$;

M_{Ed} – розрахункове значення згинального моменту в перерізі, до якого прикладено поперечну силу $F_{z,Ed}$.



Умовні позначки:

1 – поперечні елементи жорсткості;

2 – нахил для обчислення ℓ_y

Рисунок 8.4 – Визначення довжин ℓ_y , d_w та s_s

(3) За наявності поздовжнього розтягувального напруження у полиці під дією поперечної стискальної сили має бути задоволено критерій, зазначений у формулі (8.1), за такої умови:

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{\ell_y t_w} \quad (8.66)$$

8.3 Опір втраті стійкості елементів

8.3.1 Елементи з постійним поперечним перерізом за умов стиску

8.3.1.1 Опір втраті стійкості

(1) Розрахункове значення стискальної поздовжньої сили, N_{Ed} , визначають, дотримуючи критерію, обумовленого у формулі (8.67):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.67)$$

де

N_{Ed} – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили;

$N_{b,Rd}$ – розрахункове значення опору втраті стійкості за стиску.

(2) Перевіряння опору втраті стійкості за стиску можна не виконувати, якщо умовна гнучкість становить $\bar{\lambda} \leq 0,2$, див. 8.3.1.2, або якщо розрахункове значення стискальної поздовжньої сили становить $N_{Ed} \leq 0,04N_{cr}$.

(3) Для елементів з асиметричним поперечним перерізом класу 4 враховують додатковий момент ΔM_{Ed} , спричинений ексцентриситетом осі центру ваги ефективного перерізу, див. 8.2.2.5(3). Перевіряння виконують відповідно до 8.3.3 або 8.3.4.

(4) Розрахунковий опір втраті стійкості за стиску, $N_{b,Rd}$, приймають за формулою:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi N_{Rk}}{\gamma_{M1}}, \quad (8.68)$$

де

χ – понижувальний коефіцієнт втрати стійкості, який визначають як функцію умовної гнучкості, $\bar{\lambda}$, стиснутого елемента, для врахування відповідної форми втрати стійкості. Див. 8.3.1.3 щодо втрати стійкості

за згинальною формою та 8.3.1.4 щодо втрати стійкості за крутильною чи крутильно-згинальною формою;

N_{Rk} – характеристичне значення опору стиску згідно з 8.2.2.6.

(5) Для визначення опору втраті стійкості елементів зі змінним поперечним перерізом уздовж елемента або в разі нерівномірного розподілу стискальної поздовжньої сили можна виконати розрахунок згідно з теорією другого порядку відповідно до 7.2.2.

Примітка. Щодо втрати стійкості з площини див. також 8.3.4.

(6) Під час визначення A та A_{eff} отвори для кріпильних виробів на кінцях стиснутого елемента можна не враховувати.

8.3.1.2 Гнучкість стиснутих елементів

(1) Умовну гнучкість, $\bar{\lambda}$, отримують за допомогою формули (8.69):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}}, \quad (8.69)$$

де

N_{cr} – критичне зусилля у пружній стадії за відповідної форми втрати стійкості, що ґрунтується на властивостях поперечного перерізу бруто:

$N_{cr} = N_{cr,y}$ в разі втрати стійкості за згинальною формою в пружній стадії відносно осі у-у, що призводить до $\bar{\lambda}_y$;

$N_{cr} = N_{cr,z}$ в разі втрати стійкості за згинальною формою в пружній стадії відносно осі z-z, що призводить до $\bar{\lambda}_z$;

$N_{cr} = N_{cr,T}$ в разі втрати стійкості за крутильною формою, що призводить до $\bar{\lambda}_T$;

$N_{cr} = N_{cr,TF}$ в разі втрати стійкості за крутильною чи крутильно-згинальною формою в пружній стадії, що призводить до $\bar{\lambda}_{TF}$.

Примітка. Формули для визначення пружних критичних зусиль можна знайти в технічному звіті prCEN/TR 1993-1-103.

(2) Як альтернативний варіант, у разі втрати стійкості за згинальною формою умовну гнучкість, $\bar{\lambda}$, може бути прийнято за формулою:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{для поперечних перерізів класу 1, 2 та 3;} \quad (8.70)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \quad \text{для поперечних перерізів класу 4,} \quad (8.71)$$

де

L_{cr} – розрахункова довжина за втрати стійкості в розглядуваній площині;

i – радіус повороту навколо відповідної осі, визначений за використання властивостей поперечного перерізу бруто;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon, \quad (8.72)$$

де

ε – параметр матеріалу, визначений згідно з 5.2.5(2).

8.3.1.3 Понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за згинальною формою

(1) У разі втрати стійкості за згинальною формою елементів за умов поздовжнього стиску значення понижувального коефіцієнта втрати стійкості, χ , для відповідної умовної гнучкості, $\bar{\lambda}$, визначають із застосовної кривої втрати стійкості згідно з формулою (8.73):

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \quad \text{але } \chi \leq 1,0, \quad (8.73)$$

де

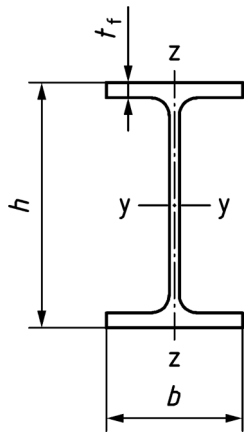
$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (8.74)$$

(2) Коефіцієнт недосконалості, α , що відповідає застосовній кривій втрати стійкості, див. таблицю 8.3, отримують із таблиці 8.2.

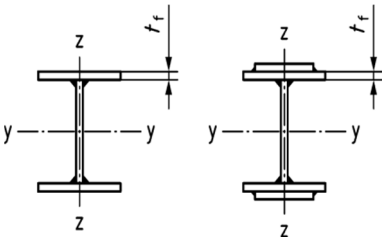
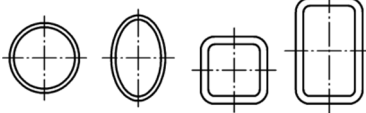
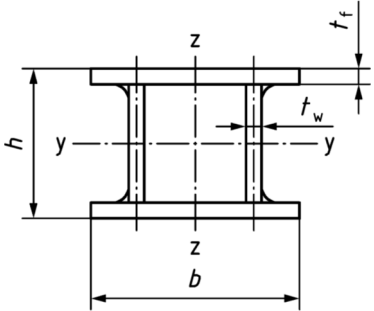
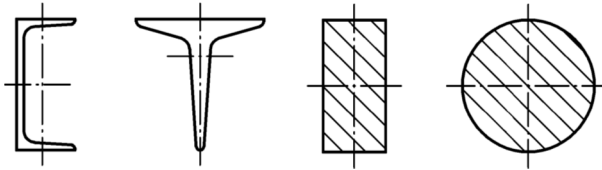
Таблиця 8.2 – Значення коефіцієнта недосконалості, α , для кривих втрати стійкості

Крива втрати стійкості	a_0	a	b	c	d
Коефіцієнт недосконалості, α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

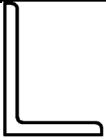
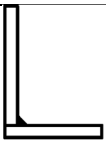
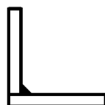
Таблиця 8.3 – Обрання кривої втрати стійкості за згинальною формою

Поперечний переріз		Граничні значення	Втрата стійкості відносно осі	Крива втрати стійкості		
				S235 S275 S355 S420	Від S460 до S700 включно	
Прокатні профілі з I-подібним чи H-подібним перерізом		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ мм	y-y z-z	a b	a_0 a
			$t_f > 40$ мм	y-y z-z	b c	a b
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ мм	y-y z-z	b c	a b
			$t_f > 100$ мм	y-y z-z	d d	c c

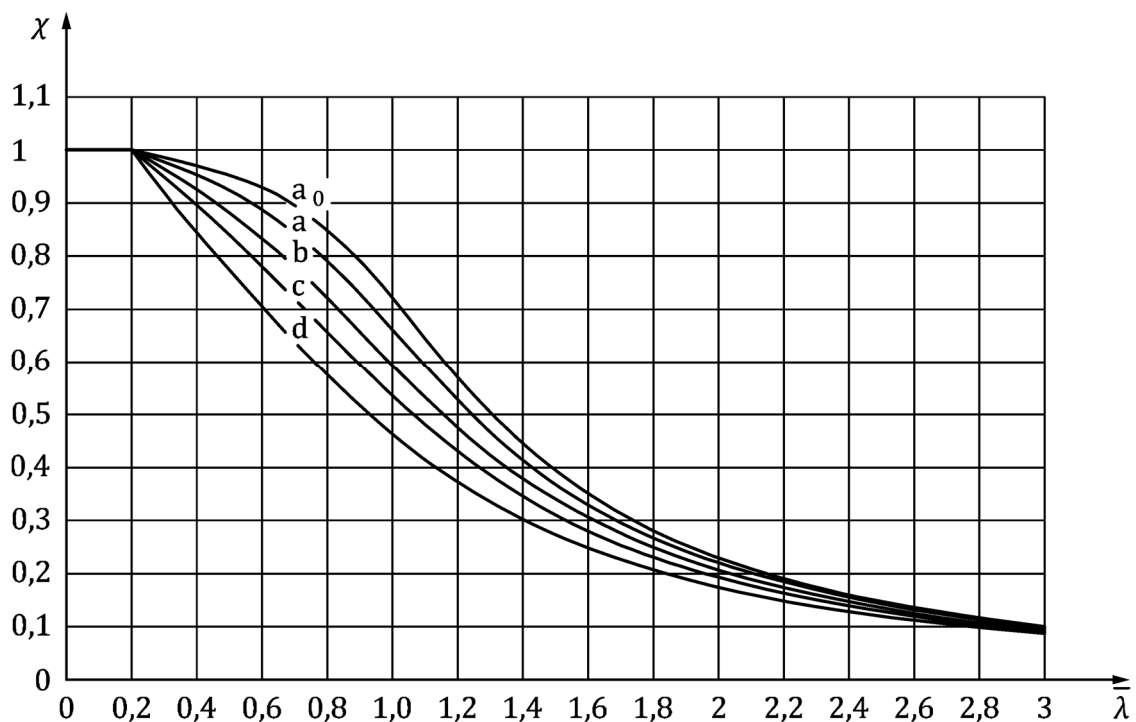
Продовження таблиці 8.3

Поперечний переріз		Граничні значення	Втрата стійкості відносно осі	Крива втрати стійкості	
				S235 S275 S355 S420	Від S460 до S700 включно
Зварні профілі з I-подібним перерізом		$t_f \leq 40$ мм	y-y z-z	b c	b c
		$t_f > 40$ мм	y-y z-z	c d	c d
Порожністі профілі		гарячекатані	будь-якої	a	a_0
		холодно-формовані	будь-якої	c	c
Зварні коробчасті профілі		зазвичай (крім зазначених нижче)	будь-якої	b	b
		із товщиною зварних швів: $a > 0,5t_f$ та $b/t_f < 30$, та $h/t_w < 30$	будь-якої	c	c
Швелери, таври та профілі з суцільним перерізом			будь-якої	c	c

Кінець таблиці 8.3

Поперечний переріз		Граничні значення	Втрата стійкості відносно осі	Крива втрати стійкості		
				S235 S275 S355 S420	Від S460 до S700 включно	
Кутикові профілі			Прокатні профілі	будь-якої	<i>b</i>	<i>a</i>
			Зварні профілі $t \leq 40$ мм	будь-якої	<i>c</i>	<i>c</i>

(3) Значення понижувального коефіцієнта, χ , для відповідної умовної гнучкості, $\bar{\lambda}$, можна отримати з рисунка 8.5.



Умовні позначки:

$\bar{\lambda}$ – умовна гнучкість;

χ – понижувальний коефіцієнт

Рисунок 8.5 – Криві втрати стійкості

8.3.1.4 Понижувальні коефіцієнти для врахування втрати стійкості за крутильною та крутильно-згинальною формами

(1) Рекомендовано враховувати, що для елементів із відкритими поперечними перерізами опір елемента втраті стійкості за крутильною чи крутильно-згинальною формами може бути меншим, ніж його опір втраті стійкості за згинальною формою.

Примітка. Це положення застосовне до елементів із подвійно-симетричними поперечними перерізами за поєднання з проміжними поперечними закріпленнями, а також до хрестоподібних та асиметричних поперечних перерізів, наприклад, швелерів, кутиків, таврів та двотаврів з І-подібними чи Н-подібними перерізами з єдиною симетрією.

(2) Для симетричних чи асиметричних поперечних перерізів понижувальний коефіцієнт втрати стійкості за крутильною формою, χ_T , чи χ_{TF} у разі втрати стійкості за крутильно-згинальною формою можна визначити за допомогою формул втрати стійкості колони та кривих втрати стійкості за формулою (8.73) та рисунком 8.5, за використання коефіцієнтів для врахування втрати стійкості відносно осі z-z згідно з таблицею 8.3. Для визначення $\bar{\lambda}$ використовують значення умовної гнучкості $\bar{\lambda}_T$ або $\bar{\lambda}_{TF}$, як зазначено у 8.3.1.2.

(3) Для стиснутих елементів із подвійно-симетричними І-подібними та Н-подібними перерізами з безперервними чи дискретними проміжними бічними закріпленнями, які не піддано втраті стійкості за крутильною чи крутильно-згинальною формою (див. рисунок 8.6), відповідний понижувальний коефіцієнт втрати стійкості, χ_{TF} , можна точніше визначити за допомогою формули (8,75):

$$\chi_{TF} = \frac{1}{\Phi_{TF} + \sqrt{\Phi_{TF}^2 - \bar{\lambda}_{TF}^2}}, \quad \text{але } \chi_{TF} \leq 1,0 ; \quad (8.75)$$

де

$$\Phi_{TF} = 0,5 \left[1 + \left(\frac{\bar{\lambda}_{TF}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \cdot \alpha_{TF} (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{TF}^2 \right] \quad (8.76)$$

Примітка 1. Щодо умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{TF}$ та $\bar{\lambda}_z$ див. (5).

Примітка 2. Щодо коефіцієнта недосконалості α_{TF} див. (6).

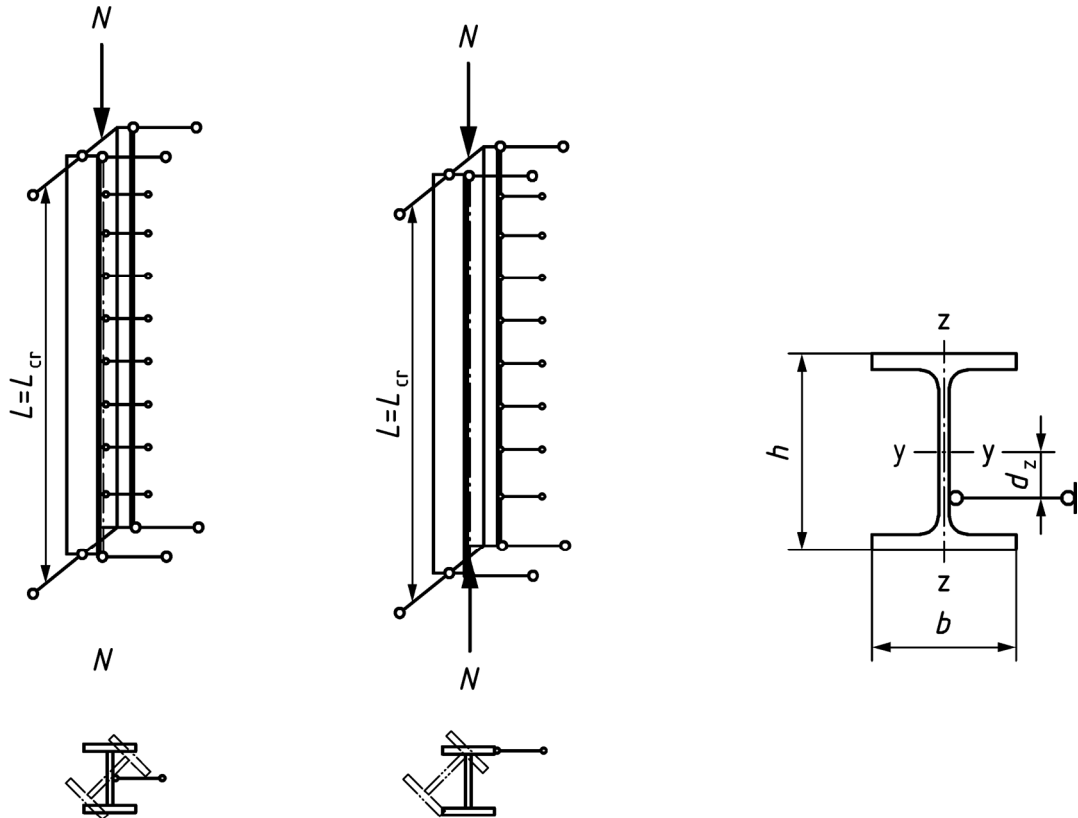


Рисунок 8.6 – Втрата стійкості за крутильно-згинальною формою закріплених від поперечних переміщень елементів із подвійно-симетричними перерізами.

Визначення геометричних характеристик

(4) Для врахування втрати стійкості за крутильною формою використовують понижувальний коефіцієнт втрати стійкості, χ_T ; його визначають за формулою (8.75), використовуючи умовну гнучкість, $\bar{\lambda}_T$, та параметр Φ_T , замість $\bar{\lambda}_{TF}$ та Φ_{TF} .

(5) Умовну гнучкість $\bar{\lambda}_{TF}$ та $\bar{\lambda}_z$, застосовну в формулах (8.75) та (8.76), обчислюють згідно з 8.3.1.2, використовуючи розрахункову довжину, L_{cr} , визначену за слабкою віссю (z-z) незакріпленої полиці.

(6) Коефіцієнт недосконалості, α_{TF} , застосовний у формулі (8.76), визначають за допомогою формули (8.77):

$$\alpha_{TF} = \alpha \sqrt{\frac{Af_y(i_p^2 + d_z^2)}{6,25GI_T}}, \quad \text{але } \alpha_{TF} \leq \alpha, \quad (8.77)$$

де

α – коефіцієнт недосконалості згідно з таблицею 8.3, застосовний у разі втрати стійкості відносно осі z-z;

i_p – полярний радіус повороту, визначений так:

$$i_p^2 = \frac{I_y + I_z}{A};$$

d_z – відстань до проміжних поперечних опорних елементів від центру зсуву, див. рисунок 8.6.

(7) Якщо передбачено окремі/дискретні проміжні бічні опори, виконують перевіряння на втрату стійкості відносно слабкої осі між проміжними опорами.

8.3.2 Елементи з постійним поперечним перерізом за умов згину

8.3.2.1 Опір до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

(1) Не закріплений у поперечному напрямку елемент, який піддано дії згинального моменту відносно головної осі, перевіряють щодо втрати стійкості за поперечно-крутильною формою. Розрахункове значення згинального моменту, M_{Ed} , визначають, дотримуючи критерію, обумовленого в формулі (8.78):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.78)$$

де

M_{Ed} – розрахункове значення моменту;

$M_{b,Rd}$ – розрахункове значення опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою.

(2) Перевіряння опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою можна не виконувати для порожнистих профілів та зварних коробчастих профілів чи балок із достатнім закріпленням стиснутої полиці, які не схильні до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою.

(3) Умови щодо жорсткості елементів прикріплення балок у будівлях можна отримати з додатка D.

(4) Розрахункове значення опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою, $M_{b,Rd}$, не закріпленої в поперечному напрямку балки отримують за формулою (8.79):

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}, \quad (8.79)$$

де

χ_{LT} – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, який визначають як функцію умовної гнучкості, $\bar{\lambda}_{LT}$, елемента, див. 8.3.2.3;

M_{Rk} – характеристичне значення опору згинальному моменту, див. 8.2.2.6.

(5) Для визначення опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою щодо балок зі змінними поперечними перерізами можна виконати загальний розрахунок відповідно до 8.3.4 чи розрахунок згідно з теорією другого порядку відповідно до 7.2.2.

(6) Визначаючи M_{Rk} , отвори для кріпильних виробів на кінці балки можна не враховувати.

8.3.2.2 Гнучкість, обумовлена кривими втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

(1) Умовну гнучкість у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, $\bar{\lambda}_{LT}$, визначають за формулою (8.80):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}}, \quad (8.80)$$

де

M_{cr} – критичний момент у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою в пружній стадії.

(2) Величину M_{cr} визначають, ґрунтуючись на властивостях поперечного перерізу брутто та враховуючи умови навантаження, фактичне розподілення моменту та бічні закріплення.

Примітка. Формули для розрахунку пружного критичного моменту можна знайти в технічному звіті prCEN/TR 1993-1-103.

8.3.2.3 Понижувальні коефіцієнти, χ_{LT} , для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою

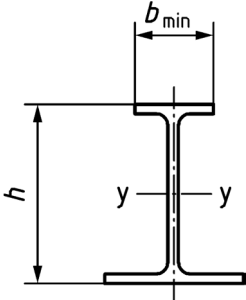
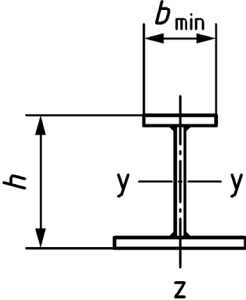
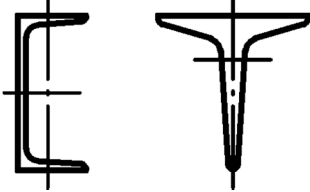
(1) Перевіряння опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою можна не виконувати, якщо умовна гнучкість, визначена щодо втрати стійкості за поперечно-крутильною формою задовольняє умову: $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$, або якщо розрахункове значення згинального моменту задовольняє умову: $M_{Ed} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2 M_{cr}$.

Примітка. $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$, якщо для розрахунку M_{cr} між бічними закріпленнями прийнято умови кінцевого вилкового обпирання. Граничні значення, застосовні щодо висоти балки чи відношення h/b , а також граничне значення $\bar{\lambda}_{LT,0}$ може бути встановлено в Національному додатку.

(2) У загальних ситуаціях, у разі призматичних елементів із довільними граничними умовами, понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, χ_{LT} ,

можна визначити за допомогою формул втрати стійкості та кривих втрати стійкості за використання формули (8.73) та рисунка 8.5. Умовну гнучкість у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, $\bar{\lambda}_{LT}$, використовують як умовну гнучкість, $\bar{\lambda}$, а криві втрати стійкості обирають згідно з таблицею 8.4.

Таблиця 8.4 – Обрання кривих втрати стійкості за поперечно-крутильною формою для загальних ситуацій

Поперечний переріз		Граничні значення	Крива втрати стійкості за поперечно-крутильною формою
Прокатні двотаврові профілі з I-подібним чи H-подібним перерізом ^a		$h/b_{min} \leq 2,0$	<i>a</i>
		$h/b_{min} > 2,0$	<i>b</i>
Зварні двотаврові профілі з I-подібним перерізом ^a		$h/b_{min} \leq 2,0$	<i>c</i>
		$h/b_{min} > 2,0$	<i>d</i>
Інші профілі (наприклад, із C-, U-, T-подібними перерізами)		—	<i>d</i>

Примітка. Обрання кривої втрати стійкості за поперечно-крутильною формою ґрунтується на мінімальній ширині полиці, b_{min} , незалежно від того, чи полиця розтягнута, чи стиснута.

^a Це також можна застосувати до подвійно-симетричних перерізів, у яких $b_{min} = b$.

(3) У разі подвійно-симетричних двотаврових профілів з І-подібними та Н-подібними перерізами та граничних умов за вилкового обпирання на обох кінцях понижувальний коефіцієнт втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, χ_{LT} , можна прийняти, як зазначено нижче:

$$\chi_{LT} = \frac{f_M}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - f_M \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \quad \text{але } \chi_{LT} \leq 1,0, \quad (8.81)$$

де

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + f_M \left(\left(\frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right]; \quad (8.82)$$

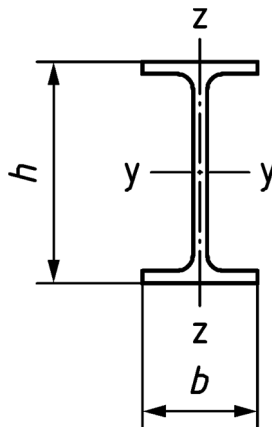
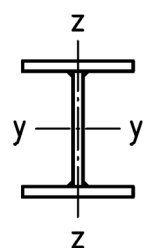
α_{LT} – коефіцієнт недосконалості, прийнятий з таблиці 8.5;

$\bar{\lambda}_{LT}$ – умовна гнучкість у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, визначена згідно з 8.3.2.2;

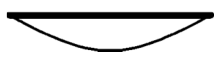
$\bar{\lambda}_z$ – відповідна умовна гнучкість у разі втрати стійкості за згинальною формою відносно слабкої осі, визначена згідно з в 8.3.1.2, за розрахункової довжини $L_{cr,z}$, прийнятої як відстань між дискретними бічними закріпленнями;

f_M – коефіцієнт для врахування ефекту розподілу згинального моменту між дискретними бічними закріпленнями. Його можна прийняти із запасом як 1,0 у ситуаціях, в яких не можливо визначити його наближене значення за допомогою епюр із таблиці 8.6.

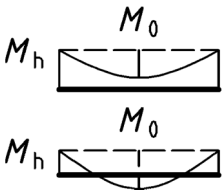
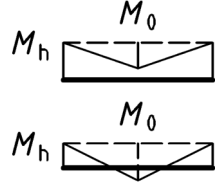
Таблиця 8.5 – Коефіцієнт недосконалості, α_{LT} , застосовний у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою подвійно-симетричних двотаврових профілів з І-подібними та Н-подібними перерізами

Поперечний переріз		Граничні значення		α_{LT}
Прокатні профілі з І-подібним та Н-подібним перерізами		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ мм}$	$0,12 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$, але $\alpha_{LT} \leq 0,34$
		$h/b > 1,2$	$t_f > 40 \text{ мм}$	$0,16 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$, але $\alpha_{LT} \leq 0,49$
	$h/b \leq 1,2$	—	—	$0,16 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$, але $\alpha_{LT} \leq 0,49$
Зварні профілі з І-подібним перерізом		$t_f \leq 40 \text{ мм}$		$0,21 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$, але $\alpha_{LT} \leq 0,64$
		$t_f > 40 \text{ мм}$		$0,25 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$, але $\alpha_{LT} \leq 0,76$

Таблиця 8.6 – Коефіцієнти f_M та k_c

Сполучення навантажень	Коефіцієнт f_M	Коефіцієнт k_c
М = прямокутна епюра 	1,0	1,0
 $-1 \leq \psi \leq +1$	$1,25 - 0,1\psi - 0,15\psi^2$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	1,05	0,94

Кінець таблиці 8.6

Сполучення навантажень	Коефіцієнт f_M	Коефіцієнт k_c
	Для $0 \leq \frac{M_0}{M_h} < 2,0$: $1,0 + 1,35 \frac{M_0}{M_h} - 0,33 \left(\frac{M_0}{M_h} \right)^3$ Для $\frac{M_0}{M_h} \geq 2$: 1,05	$\frac{M_0}{M_h} < 1,0$: 1,00 $\frac{M_0}{M_h} \geq 1,0$: 0,90
	Для $0 \leq \frac{M_0}{M_h} < 1,47$: $1,25 + 0,5 \left(\frac{M_0}{M_h} \right)^2 - 0,275 \left(\frac{M_0}{M_h} \right)^4$ Для $\frac{M_0}{M_h} \geq 1,47$: 1,05	$\frac{M_0}{M_h} < 0,5$: 0,75 $\frac{M_0}{M_h} \geq 0,5$: 0,91
	1,10	0,86
	Для $0 \leq \frac{M_0}{M_h} < 2,0$: $1,0 + 1,25 \frac{M_0}{M_h} - 0,30 \left(\frac{M_0}{M_h} \right)^3$ Для $\frac{M_0}{M_h} \geq 2,0$: 1,10	$\frac{M_0}{M_h} < 1,0$: 1,00 $\frac{M_0}{M_h} \geq 1,0$: 0,77
	Для $0 \leq \frac{M_0}{M_h} < 1,5$: $1,25 + 0,325 \left(\frac{M_0}{M_h} \right)^2 - 0,175 \left(\frac{M_0}{M_h} \right)^4$ Для $\frac{M_0}{M_h} \geq 1,5$: 1,10	$\frac{M_0}{M_h} < 0,5$: 0,75 $\frac{M_0}{M_h} \geq 0,5$: 0,82
M_0 – згинальний момент вільно обпертої балки посередині прогону (визначуваний на еквівалентному елементі за умов вільного обпирання кінців). Його можна визначити відніманням середнього значення двох моментів (вигинання) на кінцях елемента від значення моменту (прогинання) посередині прогону. За умов $M_0/M_h < 0$ коефіцієнти f_M та k_c можна прийняти із запасом як такі, що дорівнюють 1,0.		

8.3.2.4 Спрощений метод перевіряння на втрату стійкості за поперечно-крутильною формою балок, що ґрунтується на втраті стійкості стиснутої полиці

(1) Як спрощений метод для перевіряння на втрату стійкості за поперечно-крутильною формою моносиметричних та подвійно-симетричних І-подібних та Н-подібних перерізів, згідно з 8.3.2.1(1) для елементів, закріплених у поперечному напрямку чи незакріплених розрахункове значення згинального моменту, M_{Ed} , визначають, дотримуючи критерій, обумовлений у формулі (8.83):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.83)$$

де

M_{Ed} – розрахункове значення моменту;

$M_{b,Rd}$ – розрахункове значення опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою.

Примітка. Згідно з цим методом для кінців елементів передбачено умови кінцевого вилкового обпирання.

(2) Розрахункове значення опору втраті стійкості за поперечно-крутильною формою, $M_{b,Rd}$, обчислюють за формулою (8.84), ґрунтуючись на опорі втраті стійкості за згинальною формою еквівалентної стиснутої полиці (полиця плюс частина стінки):

$$M_{b,Rd} = \chi_{c,z} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (8.84)$$

де

де $\chi_{c,z}$ – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості еквівалентної стиснутої полиці за згинальною формою відносно слабкої осі перерізу, визначуваний за використання $\bar{\lambda}_{c,z,mod}$; див. підпункт (3);

W_y – значення $W_{pl,y}$ для поперечних перерізів класу 1 та 2, $W_{el,y,min}$ для поперечних перерізів класу 3 та $W_{eff,y,min}$ для поперечних перерізів зі стінкою класу 4.

Примітка. Цей метод не застосовують до поперечних перерізів із полицями класу 4.

(3) Понижувальний коефіцієнт втрати стійкості, $\chi_{c,z}$, визначають, використовуючи формули перевіряння втрати стійкості та криві втрати стійкості за використання формули (8.73) та рисунка 8.5. Для визначення умовної гнучкості, $\bar{\lambda}$, використовують умовну гнучкість еквівалентної стиснутої полиці, $\bar{\lambda}_{c,z,mod}$. Нижче наведено криві втрати стійкості, використовувані згідно з підпунктом (2):

- крива втрати стійкості c для гарячекатаних профілів;
- крива втрати стійкості d для зварних профілів.

(4) Умовну гнучкість еквівалентної стиснутої полиці визначають за такою формулою:

$$\bar{\lambda}_{c,z} = \sqrt{\frac{A_c f_y}{N_{cr,c,z}}}, \quad (8.85)$$

де

A_c – площа еквівалентної стиснутої полиці;

$$A_c = \begin{cases} A_f + \frac{1}{2} \cdot A_w & \text{у разі прикладання навантаження до стиснутої полиці} \\ A_f + \frac{1}{6} \cdot A_w & \text{у разі прикладання навантаження до центру зсуву} \\ A_f & \text{у разі прикладання навантаження до розтягнутої полиці} \end{cases}$$

У разі інших навантажень, крім поперечних, приймають площу еквівалентної стиснутої полиці як: $A_c = A_f + \frac{1}{6} \cdot A_w$;

A_f – площа стиснутої полиці: $A_f = b t_f$;

A_w – загальна площа стінки: $A_w = h_w t_w$;

$N_{cr,c,z}$ – пружне критичне поздовжнє зусилля еквівалентної стиснутої полиці у разі втрати стійкості відносно слабкої осі перерізу, що визначають за використання значення моменту інерції еквівалентної стиснутої полиці за втрати стійкості відносно слабкої осі перерізу та значення довжини між закріпленнями.

(5) Модифіковану умовну гнучкість еквівалентної стиснутої полиці визначають за такою формулою:

$$\bar{\lambda}_{c,z,mod} = k_c \cdot \beta_c \cdot \bar{\lambda}_{c,z}, \quad (8.86)$$

де

$$\beta_c = \frac{0,06 \frac{h}{t_{f,max}}}{\sqrt{\bar{\lambda}_{c,z} + \frac{t_{f,max}}{t_{f,min}}}}, \quad \text{але } \beta_c \leq 1,0; \quad (8.87)$$

k_c – поправковий коефіцієнт, застосовний до умовної гнучкості у разі розподілення моментів між закріпленнями, див. таблицю 8.6;

$t_{f,max}$ – максимальна товщина верхньої та нижньої полиці профілю;

$t_{f,min}$ – мінімальна товщина верхньої та нижньої полиці профілю.

(6) Перевіряння згідно з формулами від (8.83) до (8.87) застосовують до всіх стиснутих полиць в елементі.

8.3.3 Елементи з постійним поперечним перерізом за умов згину та поздовжнього стиску

(1) Якщо не виконують розрахунок згідно з теорією другого порядку з урахуванням недосконалості викривлення елемента відповідно до методу М4, визначеного в 7.2.2(7), або методу М5, визначеного в 7.2.2(8), то стійкість елементів перевіряють за наведеними нижче правилами.

(2) Стійкість елементів із постійним поперечним перерізом за умов згину та поздовжнього стиску, що мають подвійно-симетричні поперечні перерізи, які не схильні до деформацій, перевіряють згідно з методом, описаним у підпунктах від (3) до (14). До моносиметричних профілів з І-подібними, Н-подібними перерізами та зварних коробчастих профілів застосовують правила, наведені в С.1 додатка С.

Примітка 1. У технічній специфікації CEN/TS 1993-1-101 наведено альтернативний метод. Застосовність CEN/TS 1993-1-101 може бути визначено в Національному додатку.

Примітка 2. Якщо викладені в (2) умови застосування не дотримано, див. 8.3.4.

(3) Опір поперечного перерізу на кожному кінці елемента має задовольняти вимоги, наведені в 8.2.

(4) Опір втраті стійкості елементів конструкційних систем можна перевірити кожен відокремлено від системи, використовуючи один із методів, викладених у 7.2.2.

(5) Рекомендовано, щоб елементи, які піддано комбінації згину та поздовжнього стиску, задовольняли критеріям, обумовленим у формулах (8.88) та (8.89):

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 ; \quad (8.88)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 ; \quad (8.89)$$

де

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ та $M_{z,Ed}$ — розрахункове значення стискальної поздовжньої сили та розрахункові значення максимальних згинальних моментів відносно осей у-у та z-z уздовж елемента відповідно;

N_{Rk} , $M_{y,Rk}$ та $M_{z,Rk}$ – характеристичні значення опору поперечного перерізу стискальній поздовжній силі та згинальному моменту відносно осей у-у та z-z, відповідно, див. таблицю 8.1;

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ – моменти, спричинені зміщенням осі центру ваги згідно з 8.2.2.5 для перерізів класу 4;

χ_y та χ_z – понижувальні коефіцієнти для врахування втрати стійкості за згинальною формою згідно з 8.3.1. Щодо елементів, чутливих до втрати стійкості за крутильно-згинальною формою, див. (7);

χ_{LT} – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з 8.3.2. Для елементів, не схильних до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою:
 $\chi_{LT} = 1,0$;

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} – коефіцієнти взаємодії, див. (6).

Примітка. Критерії, обумовлені у формулах (8.88) та (8.89), ґрунтуються на моделюванні вільно обпертих однопрогонових елементів за умов кінцевого вилкового обпирання з безперервними бічними закріпленнями чи без них, які піддано дії стискальних поздовжніх сил, кінцевих моментів та/або поперечних навантажень.

(6) Коефіцієнти взаємодії k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} та k_{zz} , використовувані для розрахунку елементів із подвійно-симетричними поперечними перерізами за дотримання критеріїв, обумовлених у формулах (8.88) та (8.89), наведено в таблицях 8.7 та 8.8.

Таблиця 8.7 – Коефіцієнти взаємодії k_{yy} та k_{yz} , застосовні до критерію, обумовленого у формулі (8.88)

Пластичні характеристики поперечного перерізу класів 1, 2, 3 (за наявності W_{ep} для класу 3 згідно з додатком В)	Пружні характеристики поперечного перерізу класу 3 за наявності W_{el} для класу 4
Для $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my}[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2)n_y]$	Для $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 0,6\bar{\lambda}_yn_y)$
Для $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 0,8n_y)$	Для $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 0,6n_y)$
$k_{yz} = 0,6k_{zz}$, див. таблицю 8.8	$k_{yz} = k_{zz}$, див. таблицю 8.8
Примітка 1. Див. (9) щодо n_y .	
Примітка 2. Див. (10) і таблицю 8.9 щодо C_{my} .	

Таблиця 8.8 – Коефіцієнти взаємодії k_{zy} та k_{zz} , застосовні до критерію, обумовленого у формулі (8.89)

	Тип перерізу	Пластичні характеристики поперечного перерізу класів 1, 2, 3 (за наявності W_{ep} для класу 3, згідно з додатком В)	Пружні характеристики поперечного перерізу класу 3 за наявності W_{el} для класу 4
k_{zy}	Не схильний до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою	$k_{zy} = 0,6k_{yy}$ Див. таблицю 8.7	$k_{zy} = 0,8k_{yy}$ Див. таблицю 8.7
	Схильний до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою	Для $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_zn_z}{C_{mLT} - 0,25},$ але $k_{zy} \leq 0,6 + \bar{\lambda}_z$ для $\bar{\lambda}_z < 0,4$ Для $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,1n_z}{C_{mLT} - 0,25}$	Для $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_zn_z}{C_{mLT} - 0,25}$ Для $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,05n_z}{C_{mLT} - 0,25}$

Кінець таблиці 8.8

	Тип перерізу	Пластичні характеристики поперечного перерізу класів 1, 2, 3 (за наявності W_{ep} для класу 3, згідно з додатком В)	Пружні характеристики поперечного перерізу класу 3 за наявності W_{el} для класу 4
k_{zz}	I-подібні перерізи	Для $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} [1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6)n_z]$ Для $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} (1 + 1,4n_z)$	Для $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} (1 + 0,6\bar{\lambda}_z n_z)$
	Порожністі профілі з прямокутними, круглими чи еліптичними перерізами	Для $\bar{\lambda}_z < 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} [1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2)n_z]$ Для $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} [1 + 0,8n_z]$	Для $\bar{\lambda}_z \geq 1,0$: $k_{zz} = C_{mz} (1 + 0,6n_z)$
Примітка 1. Див. (9) щодо n_z .			
Примітка 2. Див. (10) і таблицю 8.9 щодо C_{my} та C_{mLT} .			

(7) Для елементів, схильних до втрати стійкості за крутильною та крутильно-згинальною формою, понижувальний коефіцієнт χ_z , зазначений вище та далі в тексті, заміняють на χ_{TF} відповідно до 8.3.1.4(3).

(8) Коефіцієнт взаємодії k_{zy} , зазначений в таблиці 8.8, використовують для розрізнення елементів, які схильні чи не схильні до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою. Для оцінювання цієї схильності можна використовувати зазначені нижче критерії:

– конструкційні порожністі профілі, зварні коробчасті профілі та профілі з відкритим перерізом, із достатнім закріпленням від

повертання (див. додаток D) або із розташованими з малим інтервалом поперечними в'язями, зазвичай, можна вважати такими, що не схильні до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою. Можна припустити, що відкриті перерізи є несхильними до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, якщо умовна гнучкість, $\bar{\lambda}_{LT}$, задовольняє умову, зазначену в формулі (8.90):

$$\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,lim} = \bar{\lambda}_{LT,0} \sqrt{1 - \bar{\lambda}_z^2 \chi_z}, \quad (8.90)$$

де $\bar{\lambda}_{LT,0}$ визначено в 8.3.2.3(1);

– в інших ситуаціях відкриті профілі з I-подібним та H-подібним перерізами розглядають як такі, що схильні до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою.

(9) Параметри n_y та n_z , використовувані в таблицях 8.7 та 8.8, обчислюють за допомогою формул (8.91) та (8.92), відповідно:

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}}; \quad (8.91)$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \quad (8.92)$$

(10) Коефіцієнти переходу до еквівалентної прямокутної епюри моментів, C_m , можна визначити за допомогою формул із таблиці 8.9 у разі рівномірно розподілених навантажень та зосередженого навантаження, прикладеного посередині прогону. Величина M_s завжди представляє момент за умов прогину посередині прогону, що не обов'язково має бути максимальним моментом прогину в прогоні. Оскільки значення в цій таблиці було отримано для елементів із розрахунковою довжиною, що відповідає довжині елемента між опорами, коефіцієнти C_{my} , C_{mz} та C_{mLT} приймають з урахуванням епюр згинального моменту між відповідними точками розкріплення, як зазначено нижче:

Коефіцієнт C_m	Згин відносно осі	Напрямок закріплення
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y

Примітка. На рисунку 8.7 наведено приклад визначення коефіцієнтів переходу до еквівалентної прямокутної епюри моментів для балки-колони, навантаженої за умов нерівномірно розподілених моментів на кінцях елемента відносно обох осей та з закріпленнями, розташованими з різними інтервалами в напрямках y та z.

(11) Залежно від довжини відрізка та форми епюри згинальних моментів може бути потрібно перевірити обидва відрізки між кінцями елемента та проміжним поперечним закріпленням (див. рисунок 8.7).

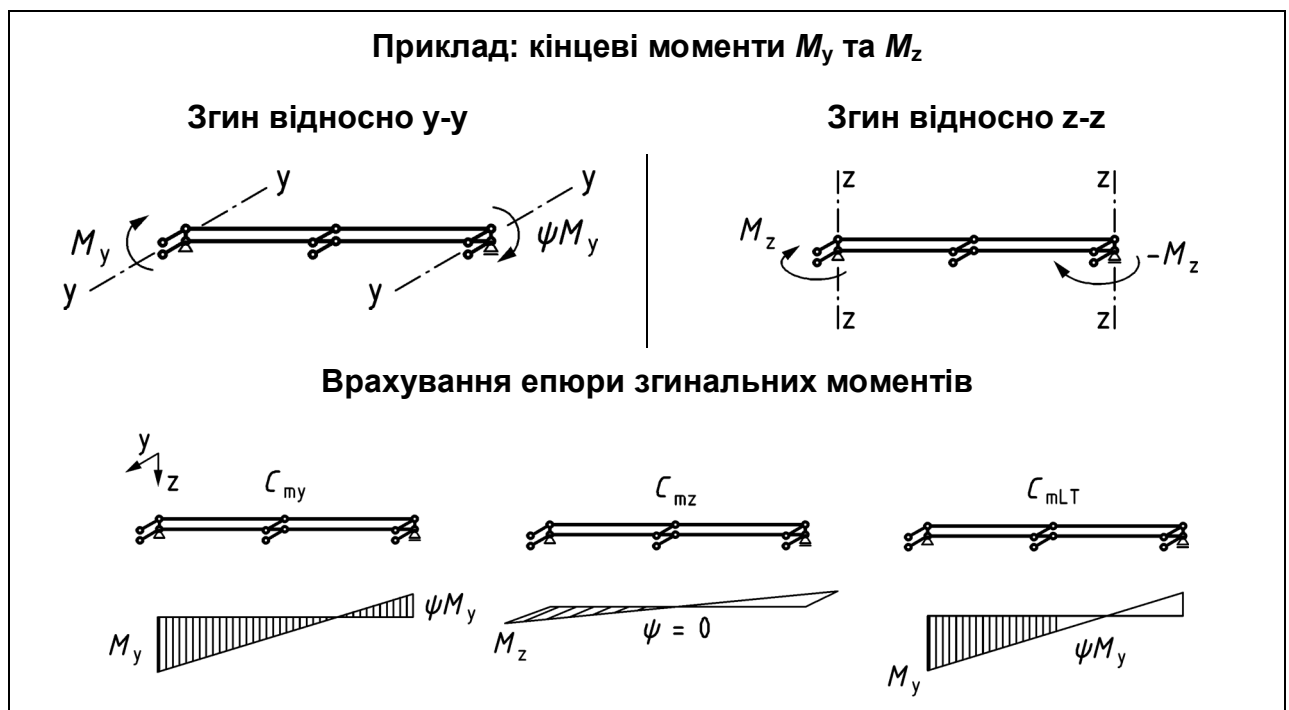
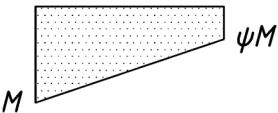
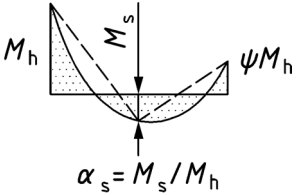
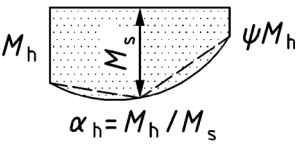


Рисунок 8.7 – Приклад застосовних епюр згинальних моментів для визначення коефіцієнтів C_{my} , C_{mz} та C_{mLT}

Таблиця 8.9 – Коефіцієнти переходу до еквівалентної прямокутної епюри моментів, C_m

Епюра моментів	Діапазон		C_{my}, C_{mz} та C_{mLT}	
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
Елементи з навантаженням, прикладеним у поперечному напрямку		Рівномірне навантаження	Зосереджене навантаження	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 1$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,2\psi - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$

(12) Якщо загальний розрахунок виконують відповідно до методу ЕМ, визначеному в 7.2.2(9), а елемент (наприклад, у каркасі без закріплення від переміщень) може втратити стійкість за зсувною формою з розхитуванням, то за будь-якої епюри згинальних моментів коефіцієнти C_m приймають як $C_{my} = 0,9$ або $C_{mz} = 0,9$.

(13) Обчислюючи значення α_s чи α_h , наведені в таблиці 8.9, враховують знак моменту вигинання, M_h , та моменту прогинання, M_s , посередині прогону. Відтак:

- α_s застосовують, якщо абсолютне значення M_h більше, ніж M_s ;
- α_h застосовують, якщо абсолютне значення M_s більше, ніж M_h .

(14) Щодо елементів, які піддано стиску та згину лише відносно осі у-у, можна розглянути деякі чи всі з наведених нижче варіантів спрощення:

- вирази, що містять k_{zz} та k_{yz} , пропускають;
- коефіцієнт k_{yy} можна розрахувати за формулою:
$$k_{yy} = C_{my}(1 + 0,8n_y);$$
- коефіцієнт k_{zy} можна прийняти як такий, що дорівнює 1,0, у разі елементів, схильних до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою;
- коефіцієнти переходу до еквівалентної прямокутної епюри згинальних моментів, C_{my} та C_{mLT} , можна прийняти як такі, що дорівнюють 1,0.

8.3.4 Загальний метод перевіряння опору конструкційних елементів щодо втрати стійкості за поперечною та поперечно-крутильною формами

(1) Якщо наведені в 8.3.1, 8.3.2 та 8.3.3 методи не застосовують, то можна використати зазначений нижче метод, розглядаючи опір втраті стійкості за поперечною та поперечно-крутильною формами щодо таких конструкційних елементів:

- конструкційні елементи з моносиметричними поперечними перерізами, які є складеними чи нескладеними, постійними чи змінними, за умов вільного обпирання чи складніших умов, або
- плоскі каркаси чи підкаркаси, утворені з таких елементів; які піддано стиску та/або одновісному згину в площині, але які не містять поворотних пластичних шарнірів.

Примітка. Сферу застосування та обмеження щодо методу, наведеного в 8.3.4, може бути встановлено в Національному додатку.

(2) Перевіряння опору втраті стійкості із площини щодо конструкційних елементів згідно з положенням (1) виконують, дотримуючи критерій, обумовлений у формулі (8.93):

$$\frac{1}{\chi_{op} \alpha_{ult,k} / \gamma_{M1}}, \quad (8.93)$$

де

$\alpha_{ult,k}$ – мінімальне значення коефіцієнта посилення, застосовного до розрахункового значення навантаження для досягнення характеристичного опору найбільш критичного поперечного перерізу конструкційного елемента, з урахуванням його роботи в площині, включно з втратою стійкості, тобто всіх ефектів, спричинених геометричними характеристиками конструкції в стані деформації в площині та недосконалостями елементів, загальними та місцевими, якщо застосовно, але без урахування втрати стійкості з площини за згинальною формою або поперечно-крутильною формою;

χ_{op} – понижувальний коефіцієнт, застосовний до умовної гнучкості, $\bar{\lambda}_{op}$, див. (3), для врахування втрати стійкості за поперечною та поперечно-крутильною формами.

(3) Загальну умовну гнучкість, $\bar{\lambda}_{op}$, конструкційного елемента визначають за такою формулою:

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}}, \quad (8.94)$$

де

$\alpha_{ult,k}$ визначено в (2);

$\alpha_{cr,op}$ – мінімальне значення коефіцієнта посилення, застосовного до розрахункового значення навантаження в площині для досягнення критичного навантаження конструкційного елемента в пружній стадії з огляду на втрату стійкості за поперечною чи поперечно-крутильною формою, без урахування втрати стійкості в площині за згинальною формою.

(4) Для визначення $\alpha_{cr,op}$ та $\alpha_{ult,k}$ можна використовувати розрахунок методом скінченних елементів (див. prEN 1993-1-14).

(5) Понижувальний коефіцієнт, χ_{op} , визначають як мінімальне значення:

χ – у разі втрати стійкості за поперечною формою згідно з 8.3.1;

χ_{LT} – у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з 8.3.2;

кожну величину визначають за загальної умовної гнучкості $\bar{\lambda}_{op}$.

Примітка. Наприклад, якщо $\alpha_{ult,k}$ визначають перевірянням поперечного перерізу $\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$, то завдяки цьому методу отримують:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{op} N_{Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{op} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (8.95)$$

8.3.5 Втрата стійкості за поперечно-крутильною формою елементів із пластичними шарнірами в будівлях

8.3.5.1 Загальні положення

(1) В Будівельні конструкції можна запроектувати, використовуючи пластичний розрахунок, за умови, що втраті стійкості каркасу за поперечно-крутильною формою запобігають за допомогою таких засобів:

a) долучення ефективного закріплення в місцях «поворотних» пластичних шарнірів, див. 8.3.5.2, та

b) забезпечення умови, за якої довжина відрізка між таким закріпленням та наступним закріпленням від поперечних переміщень не перевищує стабільну довжину, див. 8.3.5.3, та

c) забезпечення стійкості поза площиною всіх інших відрізків.

(2) В Якщо за умов усіх комбінацій навантажень у граничному стані за несною здатністю пластичний шарнір є «неповоротним», то

закріплення для такого пластичного шарніра можна не використовувати.

8.3.5.2 Закріплення на поворотних пластичних шарнірах

(1)В У кожному місці розташування поворотного пластичного шарніра забезпечують умови, за яких поперечний переріз матиме ефективне закріплення від поперечного переміщення та від кручення, з відповідним опором щодо поперечних зусиль та кручення, спричинених місцевими деформаціями в пластичній стадії елемента в цьому місці.

(2)В Має бути забезпечено ефективне закріплення від поперечного переміщення та від кручення:

– елементів, що сприймають дію або моменту як такого, або моменту та поздовжньої сили, за допомогою закріплення від поперечного переміщення обох полиць. Це може бути забезпечено застосуванням закріплення від поперечного переміщення одної полиці та жорсткого закріплення від кручення поперечного перерізу, що запобігає переміщенню в поперечному напрямку стиснутої полиці відносно розтягнутої полиці, див. рисунок 8.8;

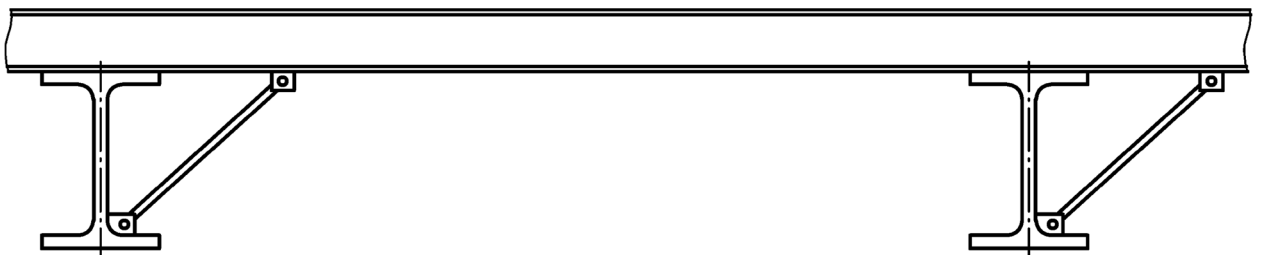
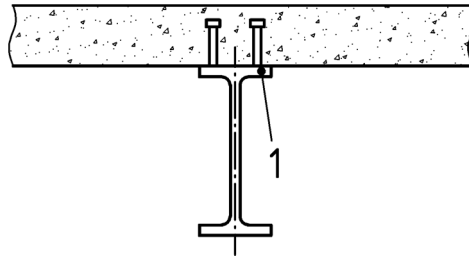


Рисунок 8.8 – Типове жорстке закріплення від кручення

– елементів, які сприймають дію або моменту як такого, або моменту та поздовжньої розтягувальної сили, якщо стиснута полиця контактує з плитою перекриття, за допомогою закріплення від поперечного зміщення та від кручення стиснутої полиці (наприклад, з'єднанням її з плитою, див. рисунок 8.9);



Умовна позначка:

1 – стиснута полиця

Рисунок 8.9 – Типове закріплення від поперечного переміщення та кручення за допомогою з'єднання плити зі стиснутою полицею

– у разі поперечних перерізів гнучкіших, ніж прокатні двотаврові профілі з І-подібними та Н-подібними перерізами, запобігають викривленню поперечного перерізу в місці утворення пластичного шарніра (наприклад, установленням елемента жорсткості в стінці, також прикріпленого до стиснутої полиці, з жорстким вузлом між стиснутою полицею та плитою).

(3)В У кожному місці утворення пластичного шарніра з'єднання (наприклад, болтове) стиснутої полиці з елементом закріплення в цьому місці (наприклад, прогоною обрешіткою) та з будь-яким проміжним елементом (наприклад, підкосом) виконують розрахунок щодо сприйняття місцевої сили, яка становить щонайменше 2,5 % від $N_{f,Ed}$ (визначеного в 8.3.5.2(5)В), що передається полицею в її площині та перпендикулярно до площини стінки, без будь-якого поєднання з іншими навантаженнями.

(4)В Закріплення від переміщень установлюють за довжиною елемента на відстані від пластичного шарніра, що становить $h/2$, де h є загальною висотою поперечного перерізу в місці розташування пластичного шарніра.

(5)В Додатково до проєктних вимог згідно з 7.3.5, системи закріплення розраховують так, щоб забезпечити їх опір ефектам,

спричиненим діями місцевих сил, Q_m , прикладених до кожного елемента в'язей в місцях утворення пластичних шарнірів:

$$Q_m = 1,5\alpha_m \frac{N_{f,Ed}}{100}, \quad (8.96)$$

де

$N_{f,Ed}$ – поздовжня сила в стиснутій полиці закріплюваного елемента в місці утворення пластичного шарніра;

α_m – визначено відповідно до 7.3.2(2).

Примітка. В Щодо комбінації із зовнішніми навантаженнями див. також 7.3.5.

8.3.5.3 Стабільна довжина відрізка

(1) Перевіряння на втрату стійкості за поперечно-крутильною формою відрізків між закріпленнями можна виконати контролюванням умови, за якої довжина між закріпленнями не перевищує стабільної довжини.

(2) Для відрізків балки з постійними за довжиною І-подібними чи Н-подібними перерізами, для яких $\frac{h}{t_f} \leq 40\varepsilon$ за умов епюри лінійного розподілу моментів та без наявності суттєвого поздовжнього стиску, стабільну довжину, L_{st} , можна прийняти, як зазначено нижче:

$$L_{st} = 35\varepsilon i_z \quad \text{за умови } 0,625 \leq \psi \leq 1; \quad (8.97)$$

$$L_{st} = (60 - 40\psi)\varepsilon i_z \quad \text{за умови } -1 \leq \psi \leq 0,625, \quad (8.98)$$

де

ε – параметр матеріалу, визначений у 5.2.5(2);

$\psi = \frac{M_{Ed,min}}{M_{pl,Rd}}$ = відношення кінцевих моментів у відрізку.

(3) Якщо місце утворення поворотного пластичного шарніра розташовано безпосередньо поруч з одним із кінців вута, то відрізок зі змінною висотою не потрібно розглядати як прилеглий до місця

розташування пластичного шарніра, якщо дотримано наведені нижче критерії:

а) закріплення в місці розташування пластичного шарніра має бути в межах відстані $h/2$ за довжиною відрізка зі змінним перерізом, але не відрізка з постійним перерізом;

б) стиснута полиця вута залишається в пружній стадії по всій своїй довжині.

8.4 Елементи зі складеним постійним перерізом за умов стиску

8.4.1 Припущення та конструкційні деталі

8.4.1.1 Припущення

(1) Стиснуті елементи зі складеним постійним перерізом, із шарнірно обпертими кінцями, закріпленими від поперечного переміщення, розраховують, ґрунтуючись на зазначеній нижче моделі, див. рисунок 8.10:

а) елемент розглядають як колону з недосконалістю викривлення, як визначено в 7.3.3.1(4), за умов втрати стійкості в площині ґраток чи з'єднувальних планок;

б) деформації в пружній стадії ґраток чи з'єднувальних планок, див. рисунок 8.10, враховують уведенням неперервної («розмазаної») зсувної жорсткості, S_v , колон.

Примітка. У разі інших умов обпирання кінців може бути внесено відповідні зміни.

(2) Модель складеного стиснутого елемента з постійним поперечним перерізом застосовують, якщо:

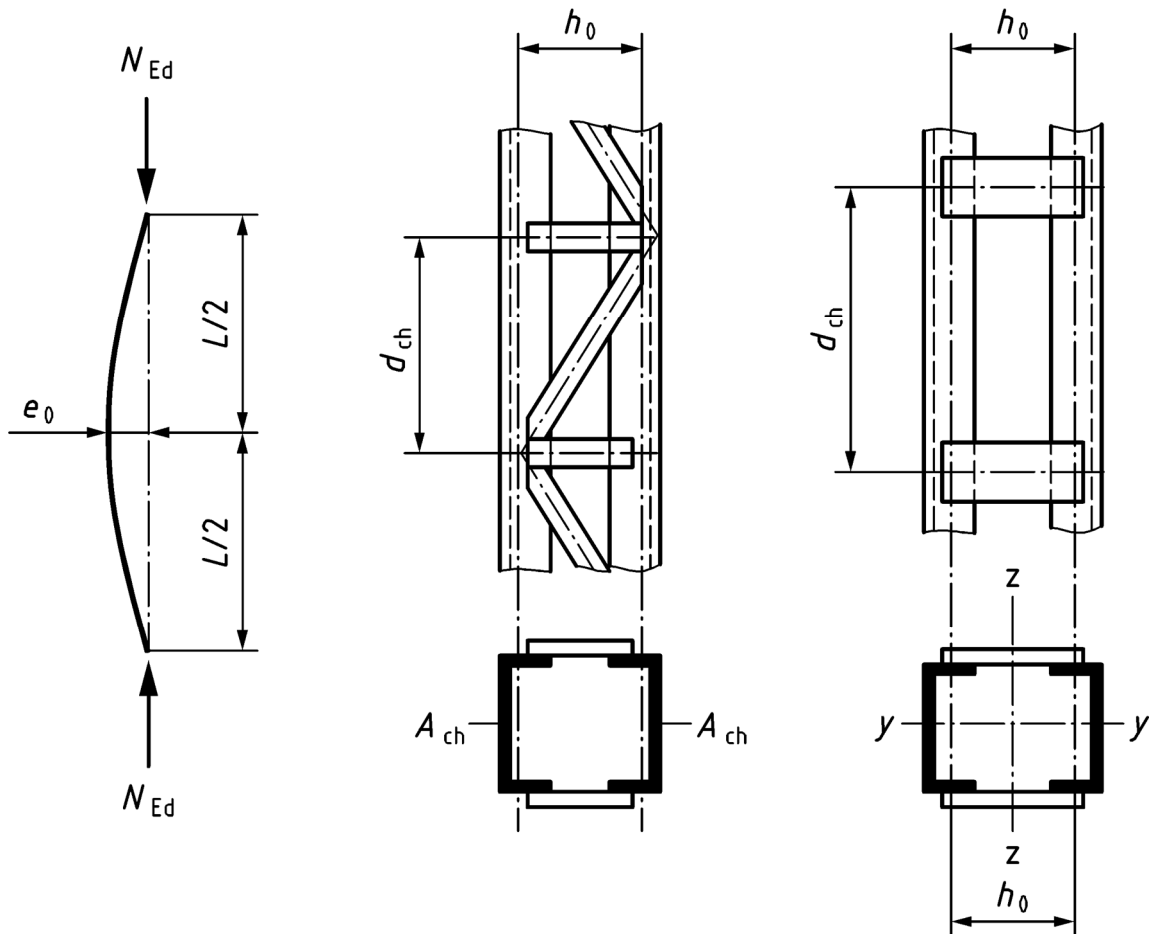
а) ґратку ферми чи з'єднувальні планки складено з однакових модулів із паралельними поясами;

b) мінімальна кількість модулів в елементі становить три.

Примітка. Це припущення надає змогу розглядати конструкцію як таку, що має правильну форму, та замінити її дискретну модель континуальною.

(3) Зазначена методика розрахунку застосовна до складених елементів зі з'єднувальними ґратками в двох площинах, див. рисунок 8.11.

(4) Пояси можуть бути суцільними елементами або, як такі, можуть мати з'єднувальні ґратки чи з'єднувальні планки у перпендикулярній площині.



$$e_0 = L/500$$

Рисунок 8.10 – Складені колони з постійним перерізом
із ґратками та з'єднувальними планками

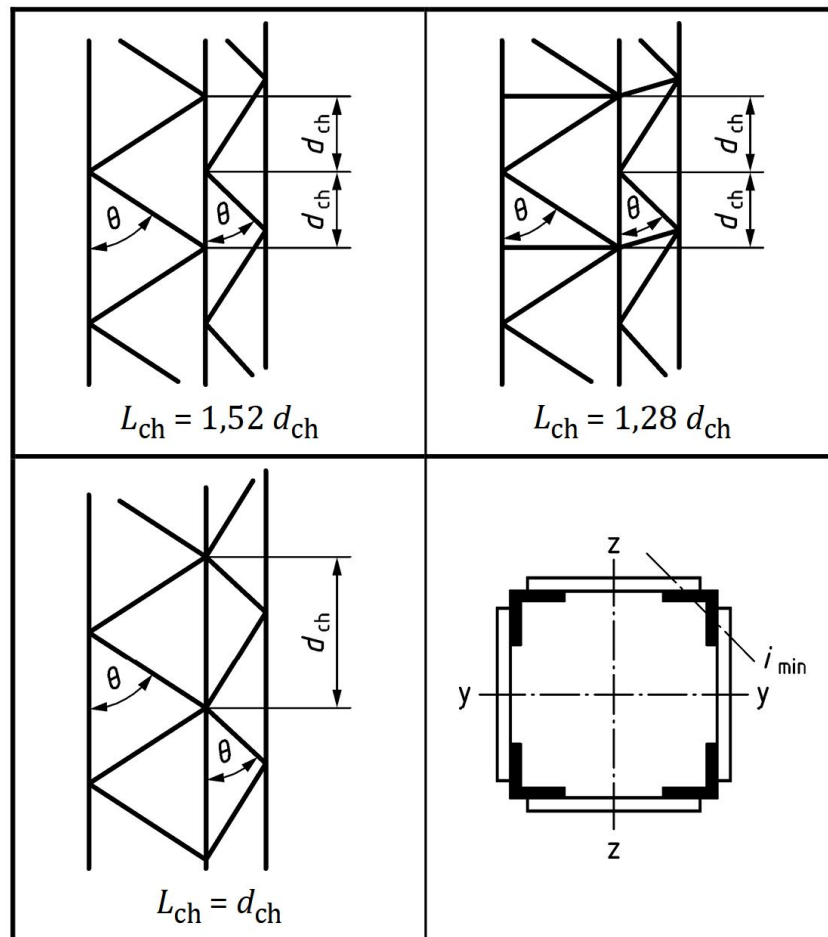


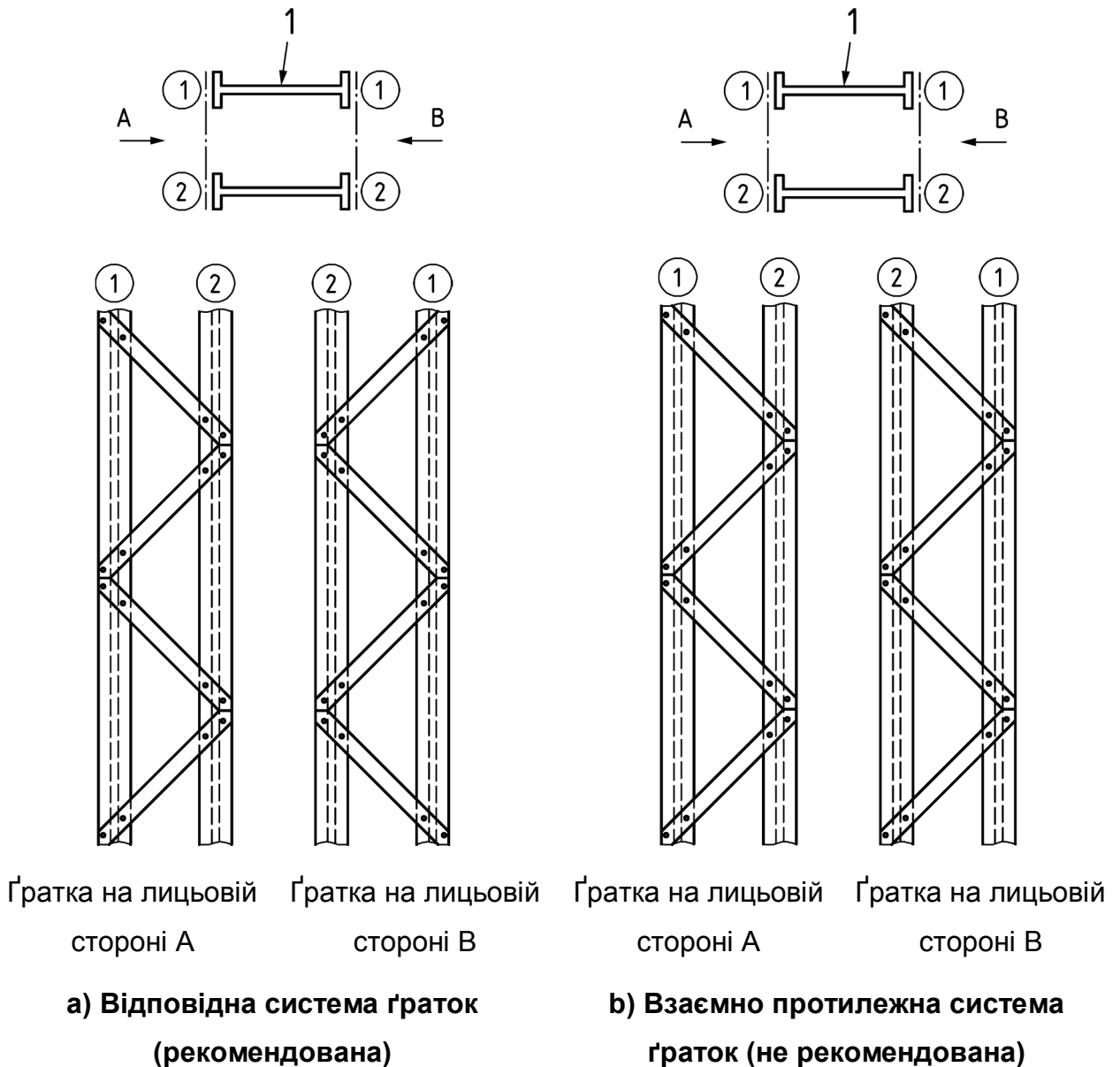
Рисунок 8.11 – З'єднувальні ґратки з чотирьох сторін
та розрахункова довжина, L_{ch} , поясів

8.4.1.2 Розташування одиночних систем ґраток

(1) Одиночні системи ґраток на протилежних гранях складених елементів із двома паралельними площинами ґраток можна розташовувати, як показано на рисунку 8.12(a).

(2) Якщо одиночні системи ґраток на протилежних лицьових сторонах складених елементів із двома паралельними площинами ґраток є взаємно протилежними за напрямком, як показано на рисунку 8.12(b), то в складеному елементі враховують спричинені цим ефекти кручення.

(3) На кінцях систем ґраток, у місцях переривання ґратки та у вузлах з'єднання з іншими елементами передбачають стяжні панелі.



Умовна позначка:

1 – пояс

Рисунок 8.12 – Одиночна система ґраток на протилежних лицьових сторонах складеного елемента з двома паралельними площинами ґраток

8.4.1.3 Розташування з'єднувальних планок

(1) Планки встановлюють на кожному кінці елемента.

(2) Якщо встановлення планок передбачено в паралельних площинах, то в кожній площині планки розташовують навпроти одна одної.

(3) Планки встановлюють також у проміжних точках, де передбачено прикладання навантаження чи закріплення від поперечного переміщення.

8.4.2 Розрахункові значення зусиль для компонентів

(1) Перевіряння поясів виконують за використання розрахункових значень зусиль у поясах, $N_{ch,Ed}$, які отримують із розрахункового значення стискальної поздовжньої сили, N_{Ed} , та розрахункового значення згинального моменту, M_{Ed} , посередині прогону складеного елемента.

(2) Для елемента з двома однаковими поясами розрахункове значення зусилля в поясі, $N_{ch,Ed}$, визначають за формулою (8.99):

$$N_{ch,Ed} = 0,5N_{Ed} + \frac{M_{Ed}h_0A_{ch}}{2I_{eff}}, \quad (8.99)$$

де

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,V}}}; \quad (8.100)$$

$N_{cr,V}$ – критична сила складеного елемента, з урахуванням ефектів його зсувної жорсткості:

$$N_{cr,V} = \frac{1}{\frac{L^2}{\pi^2 EI_{eff}} + \frac{1}{S_{vb}}}; \quad (8.101)$$

N_{Ed} – розрахункове значення стискальної поздовжньої сили, що діє на складений елемент;

M_{Ed} – розрахункове значення максимального згинального моменту в складеному елементі з урахуванням ефектів другого порядку;

M_{Ed}^I – розрахункове значення максимального згинального моменту в складеному елементі без урахування ефектів другого порядку;

h_0 – відстань між центрами ваги поперечних перерізів поясів;

A_{ch} – площа поперечного перерізу одного пояса;

I_{eff} – ефективний момент інерції складеного елемента, див. 8.4.3 та 8.4.4;

S_{vb} – зсувна жорсткість ґраток чи панелі з'єднувальних планок, див. 8.4.3 та 8.4.4.

(3) Для торцевої панелі виконують перевіряння ґраток ґратчастих складених елементів або з'єднувальних планок складених елементів на планках щодо дій моментів у каркасі та зсувних зусиль, з урахуванням зсувного зусилля в складеному елементі, що задають формулою (8.102):

$$V_{Ed} = V_{Ed}^I + \frac{\pi}{L} (M_{Ed} - M_{Ed}^I), \quad (8.102)$$

де

V_{Ed}^I – розрахункове значення зсувного зусилля на кінці (панелі), спричиненого поперечними навантаженнями, без урахування ефектів другого порядку.

8.4.3 Опір компонентів ґратчастих стиснутих елементів

(1) Пояси та діагональні ґратки, які піддано стиску, розраховують на втрату стійкості, причому вторинні моменти можна не враховувати.

(2) Для поясів розрахункове значення стискальної поздовжньої сили в поясі посередині довжини складеного елемента визначають, дотримуючи критерій, обумовлений у формулі (8.103):

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0, \quad (8.103)$$

де

$N_{ch,Ed}$ – розрахункове значення поздовжньої стискальної сили в поясі посередині довжини складеного елемента згідно з 8.4.2(2) та

$N_{b,Rd}$ – розрахункове значення опору втраті стійкості за умов стиску пояса, за використання розрахункової довжини, L_{ch} , прийнятої згідно з рисунком 8.11.

(3) Зсувну жорсткість, S_{vb} , ґраток приймають згідно з рисунком 8.13.

(4) Ефективний момент інерції в ґратчастих складених елементах можна прийняти за формулою:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} \quad (8.104)$$

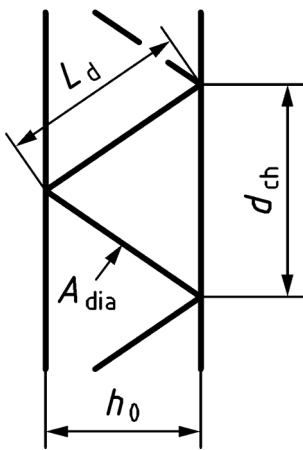
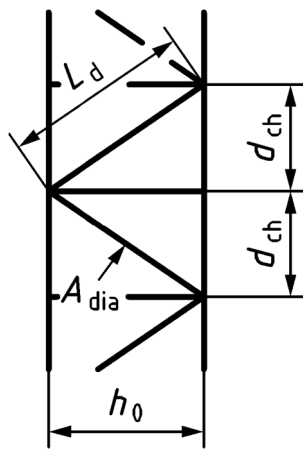
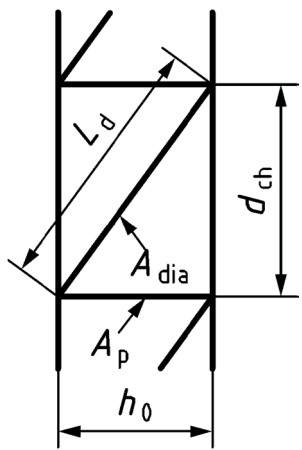
Система			
S_{vb}	$\frac{n_p E A_{dia} d_{ch} h_0^2}{2 L_d^3}$	$\frac{n_p E A_{dia} d_{ch} h_0^2}{L_d^3}$	$\frac{n_p E A_{dia} d_{ch} h_0^2}{L_d^3 \left(1 + \frac{A_{dia} h_0^3}{A_p L_d^3} \right)}$
n_p – кількість площин ґраток; A_{dia} та A_p – стосуються площі поперечного перерізу в'язей (діагоналей та стояків)			

Рисунок 8.13 – Зсувна жорсткість ґраток складених елементів

8.4.4 Опір компонентів стиснутих елементів на планках

(1) Пояси, планки та їх з'єднання з поясами перевіряють на фактичне сприйняття моментів та зусиль в торцевій панелі та посередині прогону, як показано на рисунку 8.14.

(2) Для спрощення, максимальні зусилля в поясі, $N_{ch,Ed}$, можна поєднати в комбінації з максимальним зсувним зусиллям, V_{Ed} .

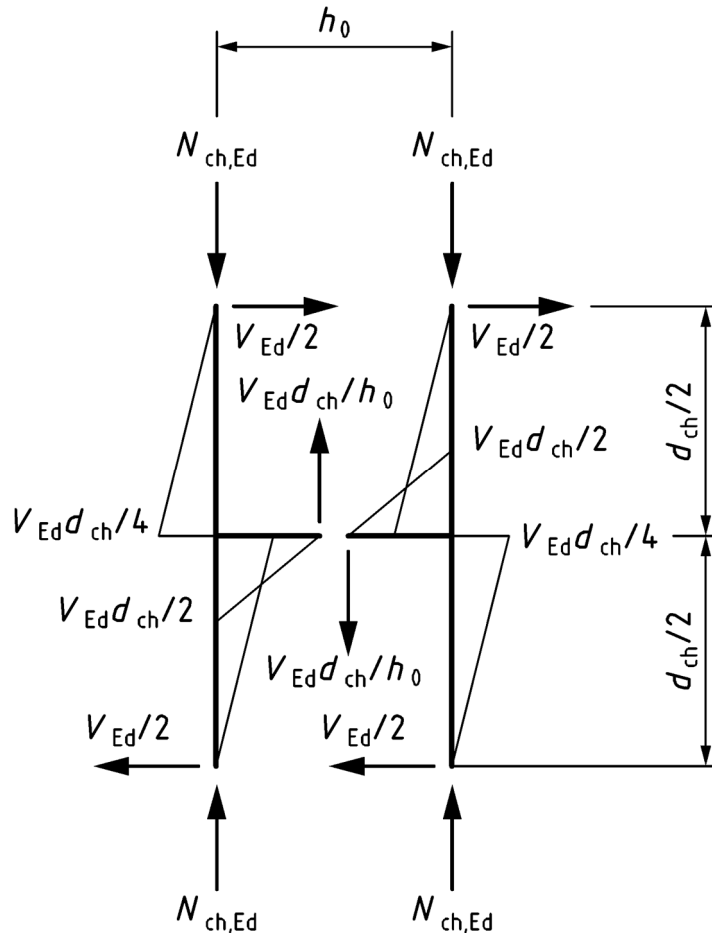


Рисунок 8.14 – Моменти і зусилля в торцевій панелі складеного елемента на з'єднувальних планках

(3) Зсувну жорсткість, S_{vb} , визначають згідно з формулою (8.105):

$$S_{vb} = \frac{24EI_{ch}}{d_{ch}^2 \left[1 + \frac{2I_{ch} h_0}{n_p I_b d_{ch}} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{d_{ch}^2} \quad (8.105)$$

(4) Ефективний момент інерції складених елементів на з'єднувальних планках можна визначити за допомогою формули (8.106):

$$I_{\text{eff}} = 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} + 2\mu I_{\text{ch}}, \quad (8.106)$$

де

I_{ch} – момент інерції одного поясу в площині;

I_{b} – момент інерції однієї планки в площині;

μ – коефіцієнт ефективності згідно з таблицею 8.10;

n_p – кількість площин з'єднувальних планок.

Таблиця 8.10 – Коефіцієнт ефективності, μ

Критерій	Коефіцієнт ефективності, μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
де $\lambda = \frac{L}{i_0}; \quad i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{\text{ch}}}}; \quad I_1 = 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} + 2I_{\text{ch}}$	

8.4.5 Елементи зі складеним перерізом із близько розташованими поясами

(1) Якщо дотримано умов, зазначених у таблиці 8.11, то стиснуті елементи зі складеним перерізом, у разі контактування їхніх поясів чи близького розташування один до одного та з'єднання за допомогою ущільнювальних прокладок, див. рисунок 8.15, або зіркоподібні елементи з кутиків, з'єднані парами планок у двох перпендикулярних площинах, див. рисунок 8.16, перевіряють на втрату стійкості як єдиний цілісний елемент, причому ефект зсувної жорсткості можна не враховувати ($S_{vb} = \infty$).

(2) Якщо умов таблиці 8.11 не дотримано, то стиснуті елементи зі складеним перерізом із близько розташованими поясами перевіряють за врахування ефекту зсувної жорсткості згідно з 8.4.2 та 8.4.4 або будь-яким іншим відповідним методом.

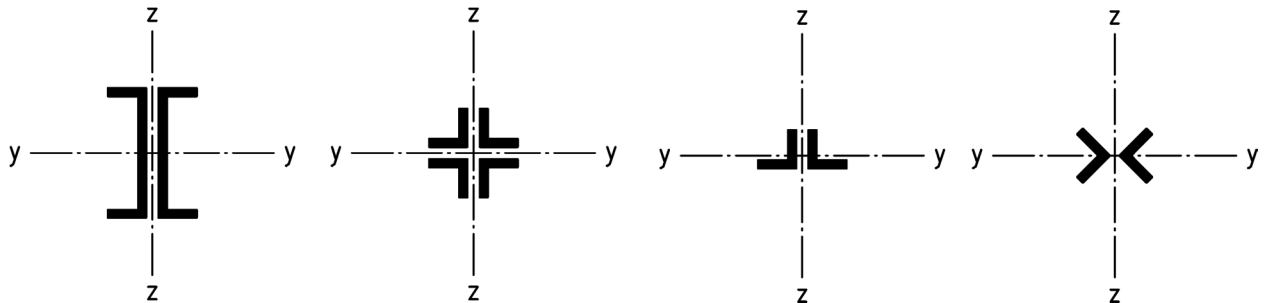


Рисунок 8.15 – Елементи зі складеним перерізом із близько розташованими поясами

Таблиця 8.11 – Максимальний інтервал для з'єднань між поясами в елементах зі складеним перерізом із близько розташованими поясами чи в зіркоподібних елементах із кутиків на планках

Тип елемента зі складеним перерізом	Максимальний інтервал між з'єднаннями ^a
Елементи згідно з рисунком 8.15, з'єднані за допомогою болтів чи зварних швів	$15i_{\min}$
Елементи згідно з рисунком 8.16, з'єднані за допомогою пари планок	$70i_{\min}$
$i_{\min}$ – мінімальний радіус поворотання одного поясу чи одного кутика	
^a Міжцентрова відстань з'єднань між поясами	

(3) Зсувні зусилля, що передаються з'єднувальними планками, визначають згідно з 8.4.4(1).

(4) У разі нерівнобічних кутиків, див. рисунок 8.16, втрату стійкості відносно осі у-у перевіряють за використання радіуса поворотання

відносно осі у-у, i_y , який можна наближено визначити за допомогою формули (8.107):

$$i_y = \frac{i_0}{1,15}, \quad (8.107)$$

де

i_0 – мінімальний радіус поворотання елемента зі складеним перерізом, обчислений відносно осі 0-0 (вісь, паралельна довшій стороні перерізу кутика).

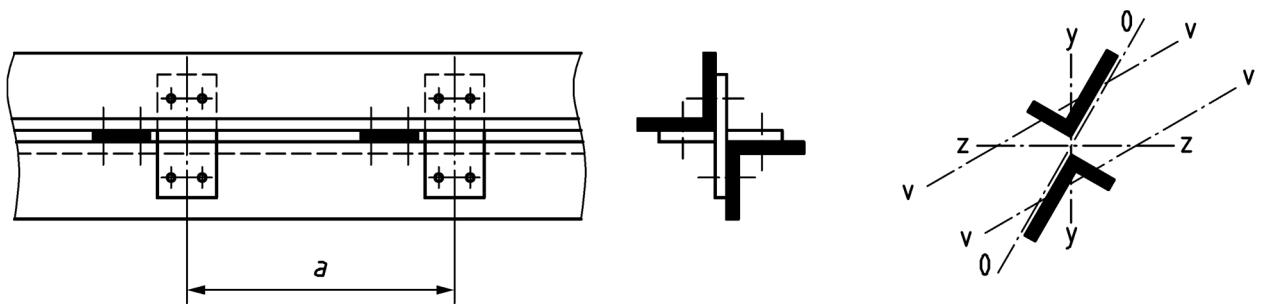


Рисунок 8.16 – Зіркоподібні елементи з кутиків на планках

9 ГРАНИЧНІ СТАНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ПРИДАТНОСТІ

9.1 Загальні положення

(1) Сталеву конструкцію має бути запроєктовано та виготовлено так, щоб було задоволено всі відповідні критерії експлуатаційної придатності.

(2) Має бути дотримано основних вимог щодо граничних станів експлуатаційної придатності, зазначених у 5.4 EN 1990.

(3) Будь-які граничні стани експлуатаційної придатності та відповідні їм моделі навантаження й аналітичні моделі визначають, дотримуючи вимог компетентного органу влади, або, якщо ним не визначено цих вимог, то їх має бути погоджено для конкретного проекту відповідними сторонами-учасниками.

(4) Якщо для перевіряння відповідності вимогам щодо граничного стану за несною здатністю використовують загальний пластичний

розрахунок, то ефекти перерозподілу зусиль і моментів у пластичній стадії враховують за граничного стану експлуатаційної придатності.

9.2 Деформації та динамічні ефекти для будівель

(1)В Відповідно до EN 1990, граничні значення щодо деформацій для будівель приймають згідно з тими, які встановлено компетентним органом влади, або, якщо ним не встановлено цих значень, то їх узгоджують для конкретного проєкту відповідні сторони-учасники.

(2)В Відповідно до EN 1990, вібрації будівельних конструкцій, призначених для пішохідного руху, обмежують, щоб уникнути суттєвого дискомфорту для користувачів, і ці обмеження визначають, дотримуючи вимог компетентного органу влади, або, якщо ним не встановлено цих вимог, то їх погоджують для конкретного проєкту відповідні сторони учасники.

Примітка. В Граничні значення стосовно деформації та вібрації перекриттів (підлог) може бути встановлено в Національному додатку.

(3)В Деформації та динамічні ефекти можна визначити розрахунком з урахуванням закріплень, що обмежують переміщення, демпфування та жорсткості неконструкційних елементів.

10 ВТОМА

(1) Щодо конструкцій, які піддано змінним діям, потрібно виконувати перевіряння на втому згідно з EN 1993-1-9, за винятком зазначених у (2) та (3) ситуацій.

(2) Перевіряння на втому можна не виконувати лише для конструкцій, які піддано статичним і квазістатичним діям.

Примітка 1. Такими діями є, наприклад:

- a) експлуатаційні навантаження для будівель згідно з EN 1991-1-1;
- b) дії снігу згідно з EN 1991-1-3;
- c) теплові дії згідно з EN 1991-1-5.

Примітка 2. Дія вітру на будівлі, зазвичай, не призводить до втоми, детальніше див. у EN 1991-1-4.

(3) Для елементів, які не містять конструкційних деталей, що зазнають вторинних напружень, перевіряння на втому можна не виконувати, якщо дотримано умови згідно з формулою (10.1) чи формулою (10.2):

$$\Delta\sigma_d \leq \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}} ; \quad (10.1)$$

$$N \leq 5 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_d} \right)^3, \quad (10.2)$$

де

N – очікувана кількість циклів напружень упродовж розрахункового строку експлуатації;

γ_{Mf} – частковий коефіцієнт для врахування втоми;

$\Delta\sigma_D = 26 \text{ Н/мм}^2$;

$\Delta\sigma_d$ – розмах напружень, визначений згідно з теорією пружності, в Н/мм^2 , спричинений змінними розрахунковими навантаженнями в граничному стані за несною здатністю, за винятком дій, зазначених у (2):

$$\Delta\sigma_d = |\sigma_{\max} - \sigma_{\min}|;$$

$\sigma_{\max}$ та $\sigma_{\min}$ – максимальне та мінімальне напруження, відповідно.

Примітка 1. Ці умови стосуються перевіряння найнесприятливішої деталізованої категорії 36 згідно з EN 1993-1-9 за постійної межі втоми для постійної амплітуди $\Delta\sigma_D$, за постійного спектру (розмахів) напружень $\Delta\sigma_d$. Оскільки на відміну від правил EN 1993-1-9 використовують розрахункові напруження в граничному стані за несною здатністю, ці умови є безпечними, якщо не виникають вторинні напруження, якими зазвичай нехтують у граничному стані за несною здатністю, наприклад, напруження внаслідок вторинних згинальних моментів у вузлах ферм або місцеві напруження, спричинені колісним навантаженням. Якщо

відбувається змінення напрямку дії навантаження, то має значення знак напружень $\sigma_{\max}$ та $\sigma_{\min}$.

Примітка 2. Значення часткового коефіцієнта γ_{Mf} приймають як таке, що дорівнює 1,35, якщо в Національному додатку не вказано іншого значення. Це значення застосовують у разі відсутності нагляду за технічним станом для врахування високого ступеня тяжкості наслідків відмови. Див. EN 1993-1-9.

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

ОБРАННЯ КЛАСУ ВИКОНАННЯ

А.1 Використання цього додатка

(1) Цей обов'язковий додаток містить положення щодо обрання відповідного класу виконання.

А.2 Сфера застосування та призначеність

(1) У цьому обов'язковому додатку розглянуто процес обрання відповідного класу виконання для сталевих конструкцій, виконуваних згідно з EN 1090-2 та EN 1090-4.

А.3 Клас виконання

(1) Клас виконання (*execution class; EXC*) визначають як класифікований набір вимог, установлених щодо виконання робіт (конструкцій) загалом, окремого компонента чи його деталі.

(2) Щоб визначити вимоги щодо виконання сталевих конструкцій згідно з EN 1090-2 та EN 1090-4, до початку їх виконання визначають клас виконання EXC1, EXC2, EXC3 або EXC4. Жорсткість вимог щодо виконання зростає від EXC1 до EXC4.

Примітка. EN 1993 ґрунтується на припущенні, що його використовуватимуть разом із EN 1090-2 та EN 1090-4. У стандартах EN 1993-1-9, EN 1993-2 та EN 1993-3 наведено додаткові до EN 1090-2 вимоги щодо виконання конструкцій, їх компонентів чи деталей, які піддано втомлювальним діям. Крім EN 1090-2, у стандарті EN 1993-5 зазначено також посилання на інші європейські стандарти стосовно виконання пальових робіт.

(3) Застосовують клас виконання EXC2, якщо за результатами процесу обрання не визначено інший клас.

A.4 Процес обирання

(1) Клас виконання обирають, ґрунтуючись на таких трьох чинниках:

- потрібна надійність;
- тип навантаження, на яке розраховано конструкцію, компонент чи деталь;
- тип конструкції, компонента чи деталі.

(2) З точки зору управління надійністю, клас виконання обирають, ґрунтуючись на потрібному класі наслідків (*consequence class*; CC).

Примітка 1. Поняття класу наслідків визначено в EN 1990.

Примітка 2. У Національному додатку може бути встановлено принцип обирання класу виконання залежно від типу конструкції.

(3) З точки зору типу навантаження, прикладеного до сталевій конструкції, компонента чи деталі, клас виконання обирають, ґрунтуючись на тому, чи призначено конструкцію, компонент або деталь для сприймання статичних дій, квазістатичних дій, втомлювальних дій чи сейсмічних дій згідно з EN 1998-1.

Примітка. Класи виконання (EXC), обрані на основі типу навантаження, наведено в таблиці A.1, якщо в Національному додатку не зазначено іншого.

Таблиця А.1 (NDP) – Обрання класу виконання (EXC) на основі типу навантаження

Клас виконання (CC)	Тип навантаження				
	Статичне, квазі- статичне	Сейсмічне			Втомне ^b
		DC1 ^a	DC2 ^a	DC3 ^a	
CC3	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c	EXC3 ^c
CC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3 ^d	EXC3
CC1	EXC1	EXC2 ^e	EXC2	EXC2	EXC2

^a Класи сейсмічної пластичності (*seismic ductility classes; DC*) визначено в prEN 1998-1-1.

^b Див. EN 1993-1-9.

^c EXC4 можна розглядати в особливих ситуаціях, включно з тими, які зазвичай охоплено в CC4 згідно з EN 1990.

^d До EXC3 відносять лише основну (первинну) систему сейсмічного опору; систему опору гравітаційному навантаженню можна віднести до EXC2.

^e Якщо показник сейсмічної дії (*seismic action index*) не перевищує $2,5 \text{ м/с}^2$ (низький клас сейсмічної дії, див. prEN 1998-1-1), то у разі DC1 клас виконання конструкцій може бути EXC1.

Примітка. Цей додаток не поширюється на конструкції класу наслідків CC0, див. 4.3 EN 1990.

(4) Якщо потрібний клас виконання, застосовний до окремих компонентів та/або деталей, відрізняється від того, який застосовують до конструкції загалом, то ці компоненти та/або деталі рекомендовано чітко визначити.

(5) Якщо для конструкції обрано клас EXC1, то клас EXC2 застосовують до таких типів компонентів:

а) зварні компоненти, які виготовлено з виробів зі сталі марки S355 і вищої;

б) зварні компоненти, від яких суттєво залежить цілісність конструкції та які монтують, використовуючи зварювання на будівельному майданчику;

с) зварні елементи решітчастих балок, складених із порожнистих профілів із круглим перерізом (*circular hollow section; CHS*), що потребують обрізання профілю на торцях;

d) компоненти, виготовлені за допомогою гарячого формування чи термічного оброблення у процесі виробництва.

Примітка. У Національному додатку може бути наведено різні варіанти класів виконання, застосовні до різних типів компонентів чи деталей.

A.5 Клас виконання та часткові коефіцієнти

(1) Технічні умови, визначені для конструкції, компонента чи деталі вищого класу виконання, не використовують для обґрунтування нижчих часткових коефіцієнтів опору, застосовуваних під час розрахунку цієї конструкції, компонента чи деталі.

ДОДАТОК В

(обов'язковий)

РОЗРАХУНОК НАПІВКОМПАКТНИХ ПЕРЕРІЗІВ

В.1 Сфера застосування та призначеність

(1) Цей додаток містить альтернативні правила розрахунку напівкомпактних (класу 3) подвійно-симетричних двотаврових І-подібних чи Н-подібних перерізів, порожнистих профілів із прямокутними перерізами, подвійно-симетричних коробчастих профілів, порожнистих профілів із круглими та еліптичними перерізами на сприйняття одновісного та двовісного згину та поздовжньої сили.

В.2 Момент опору перерізу у пружно-пластичній стадії

(1) Момент опору перерізу у пружно-пластичній стадії, W_{ep} , для подвійно-симетричних поперечних перерізів визначають за допомогою інтерполяції між моментом опору перерізу в пластичній стадії, W_{pl} , та моментом опору перерізу в пружній стадії, W_{el} , відносно однієї головної осі поперечного перерізу, як зазначено нижче:

$$W_{ep,y} = W_{pl,y} - (W_{pl,y} - W_{el,y}) \beta_{ep,y}; \quad (B.1)$$

$$W_{ep,z} = W_{pl,z} - (W_{pl,z} - W_{el,z}) \beta_{ep,z}, \quad (B.2)$$

де значення $\beta_{ep,y}$ та $\beta_{ep,z}$ залежать від параметра матеріалу, ε , та відношення ширини до товщини, як визначено в таблицях від 7.3 до 7.5. Їх приймають, як зазначено нижче.

– Для прокатних чи зварних профілів із двотавровими І-подібними чи Н-подібними перерізами:

$$\beta_{ep,y} = \max \left\{ \frac{\frac{c}{t_f} - 10\varepsilon}{4\varepsilon}; \frac{\frac{c}{t_w} - 83\varepsilon}{38\varepsilon}; 0 \right\}, \quad \text{але } \beta_{ep,y} \leq 1,0; \quad (B.3)$$

$$\beta_{ep,z} = \max \left\{ \frac{\frac{c}{t_f} - 10\varepsilon}{6\varepsilon}; 0 \right\}, \quad \text{але } \beta_{ep,z} \leq 1,0 \quad (\text{B.4})$$

– Для порожнистих профілів із прямокутними перерізами чи зварних коробчастих профілів із подвійно-симетричними перерізами:

$$\beta_{ep,y} = \max \left\{ \frac{\frac{c}{t_f} - 34\varepsilon}{4\varepsilon}; \frac{\frac{c}{t_w} - 83\varepsilon}{38\varepsilon}; 0 \right\}, \quad \text{але } \beta_{ep,y} \leq 1,0; \quad (\text{B.5})$$

$$\beta_{ep,z} = \max \left\{ \frac{\frac{c}{t_w} - 34\varepsilon}{4\varepsilon}; 0 \right\}, \quad \text{але } \beta_{ep,z} \leq 1,0 \quad (\text{B.6})$$

Примітка 1. Ширина, c , для відповідної стиснутої частини визначена в таблицях від 7.3 до 7.5.

Примітка 2. Для порожнистих профілів із прямокутним перерізом $t_f = t_w = t$.

– Для порожнистих профілів із круглими чи еліптичними перерізами:

$$\beta_{ep,y} = \beta_{ep,z} = \max \left\{ \frac{\frac{d_e}{t} - 70\varepsilon^2}{70\varepsilon^2}; 0 \right\}, \quad \text{але } \beta_{ep,y} = \beta_{ep,z} \leq 1,0 \quad (\text{B.7})$$

де

d_e – еквівалентний діаметр згідно з таблицею 7.5.

V.3 Опір поперечних перерізів

(1) За наявності в одній комбінації згинального моменту та поздовжньої сили розрахункове значення згинального моменту, M_{Ed} , у кожному поперечному перерізі визначають, дотримуючи критерій, обумовлений у формулі (B.8):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,ep,Rd}} \leq 1,0, \quad (\text{B.8})$$

де

$M_{N,ep,Rd}$ – розрахунковий опір згинальному моменту в пружно-пластичній стадії, зменшений з урахуванням поздовжньої сили.

(2) Приведений розрахунковий опір згинальному моменту в пружно-пластичній стадії, $M_{N,ep,Rd}$, приймають, як зазначено нижче.

– Для прокатних чи зварних профілів із подвійно-симетричними І-подібними чи Н-подібними перерізами:

$$M_{N,ep,y,Rd} = M_{ep,y,Rd} (1 - n) ; \quad (B.9)$$

$$M_{N,ep,z,Rd} = M_{ep,z,Rd} (1 - n^2) \quad (B.10)$$

– Для порожнистих профілів із прямокутними перерізами, зварних коробчастих профілів із подвійно-симетричними перерізами, порожнистих профілів із круглими чи еліптичними перерізами:

$$M_{N,ep,y,Rd} = M_{ep,y,Rd} (1 - n) ; \quad (B.11)$$

$$M_{N,ep,z,Rd} = M_{ep,z,Rd} (1 - n) , \quad (B.12)$$

де

$$M_{ep,y,Rd} = \frac{W_{ep,y} f_y}{\gamma_{M0}} ; \quad (B.13)$$

$$M_{ep,z,Rd} = \frac{W_{ep,z} f_y}{\gamma_{M0}} ; \quad (B.14)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad (B.15)$$

(3) У разі двовісного згину перевіряють відповідність зазначеному нижче критерію:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,ep,y,Rd}} \right)^{\alpha_y} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,ep,z,Rd}} \right)^{\alpha_z} \leq 1,0 \quad (B.16)$$

У цій формулі α_y та α_z приймають так:

– для прокатного чи зварного профілю з подвійно-симетричними двотавровими І-подібними чи Н-подібними перерізами

$$\alpha_y = 2; \quad \alpha_z = 5n, \quad \text{але } \alpha_z \geq 1,0;$$

– для порожнистих профілів із прямокутними перерізами та зварних коробчастих профілів із подвійно-симетричними перерізами:

$$\alpha_y = \alpha_z = \frac{1,66}{1 - 1,13n^2}, \quad \text{якщо } n \leq 0,8;$$

$$\alpha_y = \alpha_z = 6,0, \quad \text{якщо } n > 0,8;$$

$$\text{але: } \alpha_y = \alpha_z \leq 2 + 4[1 - \max\{\beta_{ep,y}; \beta_{ep,z}\}]^4;$$

значення α_y та α_z із запасом можна прийняти як такі, що дорівнюють 1,0;

– для порожнистих профілів із круглими перерізами:

$$\alpha_y = 2; \alpha_z = 2;$$

– для порожнистих профілів з еліптичними перерізами:

$$\alpha_y = 2; \alpha_z = 1,7.$$

В.4 Опір втраті стійкості елементів

(1) Стійкість елементів за умов згину або згину та дії поздовжньої сили перевіряють за правилами, викладеними в 8.3.2 чи 8.3.3, відповідно. Для цього перевіряння можна використовувати момент опору перерізу у пружно-пластичній стадії, W_{ep} , а також коефіцієнти взаємодії k_{yy} , k_{yz} , k_{zz} та k_{zy} , визначені в 8.3.3 для пластичного розрахунку.

ДОДАТОК С

(обов'язковий)

ДОДАТКОВІ ПРАВИЛА ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ПОСТІЙНИМИ МОНОСИМЕТРИЧНИМИ ПОПЕРЕЧНИМИ ПЕРЕРІЗАМИ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ЗА УМОВ ЗГИНУ, ПОЗДОВЖНЬОГО СТИСКУ І КРУЧЕННЯ

С.1 Додаткові правила для елементів із постійними моносиметричними поперечними перерізами

(1) Цей додаток містить додаткові правила застосування критеріїв, обумовлених у формулах (8.88) та (8.89) у пункті 8.3.3, для розрахунку щодо втрати стійкості елементів із моносиметричними І-подібними, Н-подібними перерізами, а також зварних коробчастих профілів, що мають полиці різного розміру та є симетричними відносно осі z-z.

(2) Положення цього розділу застосовують до елементів із поперечними перерізами класів 1, 2, 3 та 4, які піддано згину та поздовжньому стиску.

(3) Критичний момент у пружній стадії, M_{cr} , умовна гнучкість, $\bar{\lambda}_{LT}$, у разі втрати стійкості за поперечно-крутильною формою та відповідний понижувальний коефіцієнт, χ_{LT} , застосовують для врахування згину відносно осі у-у стиснутої полиці, яка може бути меншою чи більшою за розміром, див. рисунок С.1. В елементах, уздовж яких діє згинальний момент зі змінним знаком, визначають два окремих набори значень M_{cr} , $\bar{\lambda}_{LT}$ та χ_{LT} для кожного максимального абсолютного значення згинального моменту $M_{y,Ed}$ за довжиною елемента. У цьому разі M_{cr} можна визначити, помноживши відповідне значення $M_{y,Ed,i}$ на коефіцієнт посилення критичного навантаження, α_{cr} , для врахування втрати стійкості елемента за поперечно-крутильною формою.

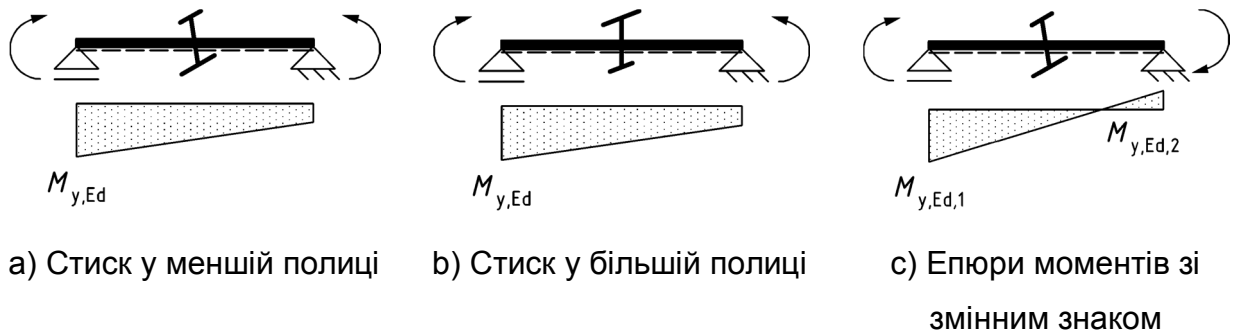


Рисунок С.1 – Напрямок згину в моносиметричних перерізах у відношенні до форми перерізу

(4) Для визначення опору в пружній стадії характеристичне значення опору згинальному моменту, $M_{y,Rk}$, визначають, виходячи з першого значення границі текучості стиснутої полиці.

(5) Незалежно від схильності елемента до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, перевіряння на відповідність критерію, обумовленому в формулі (8.88) пункту 8.3.3, виконують, використовуючи модифікований коефіцієнт k_{yy} , зазначений в таблиці С.1.

Таблиця С.1 – Модифіковані коефіцієнти взаємодії, k_{yy} , із формули (8.88), в якій встановлено критерій для моносиметричних перерізів

Пластичні характеристики поперечного перерізу класу 1 та класу 2		Пружні характеристики поперечного перерізу класу 3 та класу 4	
Для $\bar{\lambda}_y < 1,0$:	$k_{yy} = C_{my} [1 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,2)n_y]$	Для $\bar{\lambda}_y < 1,0$:	$k_{yy} = C_{my} (1 + \bar{\lambda}_y n_y)$
Для $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$:	$k_{yy} = C_{my} (1 + 1,6n_y)$	Для $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$:	$k_{yy} = C_{my} (1 + n_y)$

(6) У разі епюр згинального моменту, $M_{y,Ed}$, зі змінням знака за довжиною елемента, див. рисунок С.1 в), оцінюють обидва максимальні абсолютні значення $M_{y,Ed}$ за критерієм, обумовленим у формулах (8.88) та (8.89). Коефіцієнти переходу до еквівалентної

прямокутної епюри моментів, C_{my} та C_{mLT} , із таблиці 8.9 розраховують, установлюючи від'ємні значення ψ , α_h , а відповідне значення α_s як таке, що менше чи дорівнює 0,0, не враховуючи ділянку епюри моментів з протилежним знаком. Як альтернативний варіант, для C_{my} та C_{mLT} можна із запасом встановити значення 1,0.

(7) Для елементів, які не схильні до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, значення χ_{LT} встановлюють таке, що дорівнює 1,0, у разі перевіряння на відповідність критеріям, обумовленим у формулах (8.88) та (8.89). Використовують коефіцієнт χ_{TF} для врахування втрати стійкості за крутильно-згинальною формою, замість χ_z , для перевіряння за критерієм, обумовленим у формулі (8.89), якщо момент інерції, $I_{z,fl}$, відносно z-z обох полиць відрізняється більш ніж на 50 %. Значення $I_{z,fl}$ обчислюють, розглядаючи полиці як ізольовані пластини чи перерізи.

(8) Для елементів, що схильні до втрати стійкості за поперечно-крутильною формою, коефіцієнт втрати стійкості χ_z замінюють на χ_{TF} для врахування втрати стійкості за крутильно-згинальною формою у разі оцінювання за критерієм, обумовленим у формулі (8.89), якщо згинальний момент, $M_{y,Ed}$, спричиняє стиск в меншій за розміром полиці. Коефіцієнт χ_z для врахування втрати стійкості за згинальною формою відносно осі z-z використовують у разі оцінювання за критерієм, обумовленим у формулі (8.89), якщо згинальний момент, $M_{y,Ed}$, спричиняє стиск у більшій за розміром полиці. У цьому разі опір втраті стійкості за крутильно-згинальною формою перевіряють за введення додаткової умови, використовуючи χ_{TF} у критерії, обумовленому в формулі (8.89), та пропускаючи вираз із $M_{y,Ed}$.

С.2 Додаткові правила для елементів із постійним поперечним перерізом за умов згину, поздовжнього стиску та кручення

(1) Цей підрозділ стандарту використовують для перевіряння опору втраті стійкості вільно обпертого елемента із постійним двотавровим І-подібним перерізом за згину, поздовжнього стиску та кручення, з однаковими чи неоднаковими полицями, за умови, що співвідношення моментів інерції відносно осі z-z полиць більше чи дорівнює 0,2 та менше чи дорівнює 5,0. Цей розділ призначено для використання разом із правилами, викладеними в 8.3 та С.1.

(2) Установлені в С.2 правила поширюються на елементи з поперечними перерізами класів 1, 2 та 3, зі співвідношенням максимального бімоменту за довжиною елемента, B_{Ed}/B_{Rk} , яке таке, що менше чи дорівнює 0,3, де B_{Ed} та B_{Rk} визначено в (3).

(3) За винятком ситуацій, в яких виконують розрахунок згідно з теорією другого порядку з використанням недосконалостей, стійкість елементів із постійними поперечними перерізами класів 1, 2 та 3, які піддано в одній комбінації поздовжньому стиску, згину та крученню, перевіряють на відповідність критеріям, обумовленим у формулах (С.1) та (С.2):

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_w k_{zw} k_\alpha \frac{\frac{B_{Ed}}{B_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0 ; \quad (C.1)$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_w k_{zw} k_\alpha \frac{\frac{B_{Ed}}{B_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0 , \quad (C.2)$$

де

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ – розрахункові значення стискальної поздовжньої сили та максимальних моментів відносно осей y-y та z-z за довжиною елемента, відповідно;

N_{Rk} , $M_{y,Rk}$, $M_{z,Rk}$ – характеристичні значення опору поперечного перерізу стискальній поздовжній силі та згинальному моменту відносно його осей у-у та z-z, відповідно;

B_{Ed} – максимальне розрахункове значення бімоменту за довжиною елемента;

B_{Rk} – характеристичне значення опору щодо бімоменту;

χ_y та χ_z – понижувальні коефіцієнти для врахування втрати стійкості за згинальною формою згідно з 8.3.1. Понижувальний коефіцієнт χ_z замінюють на χ_{TF} , який приймають згідно з 8.3.1.4, за потреби врахування втрати стійкості за крутильно-згинальною формою;

χ_{LT} – понижувальний коефіцієнт для врахування втрати стійкості за поперечно-крутильною формою згідно з 8.3.2;

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} та k_{zz} – коефіцієнти взаємодії згідно з 8.3.3. Для моносиметричних двотаврових І-подібних перерізів застосовують додаткові правила, встановлені в С.1;

$$k_w = 0,7 - \frac{0,2B_{Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}}; \quad (C.3)$$

$$k_{zw} = 1,0 - \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}}; \quad (C.4)$$

$$k_\alpha = \frac{1}{1 - \frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}}}, \quad \text{але } k_\alpha \leq 2,0; \quad (C.5)$$

M_{cr} – критичний момент відносно осі у-у в пружній стадії.

(4) Для поперечних перерізів класу 3 з неоднаковими за розміром полицями характеристичне значення опору згинальному моменту, $M_{z,Rk}$, та опору бімоменту, B_{Rk} , визначають для меншої за розміром полиці.

(5) У разі епюр згинальних моментів $M_{y,Ed}$ та $M_{z,Ed}$ зі змінням знака за довжиною елемента, див. рисунок С.1 с), розраховують обидва максимальні абсолютні значення $M_{y,Ed}$ та $M_{z,Ed}$ за дотримання критерію, обумовленого у формулах (С.1) та (С.2). Коефіцієнти переходу до еквівалентної прямокутної епюри моментів S_m можна визначити за допомогою формул із таблиці 8.9.

(6) Додатковий вираз, в якому зазначено моменти деформування, можна не враховувати під час оцінювання за критеріями взаємодії, обумовленими у формулах (С.1) та (С.2), якщо дотримано зазначеної нижче умови згідно з формулою (С.6):

$$k_{\alpha} \frac{B_{Ed}}{B_{Rk}/\gamma_{M1}} \leq 0,07 \quad (C.6)$$

Або, з запасом:

$$\frac{B_{Ed}}{B_{Rk}/\gamma_{M1}} \leq 0,035 \quad (C.7)$$

(7) Крім того, забезпечують відповідність опору поперечного перерізу елемента вимогам, наведеним у 8.2.

Примітка. Для спрощення, лінійну взаємодію в пластичній стадії, виражену критерієм у формулі (С.8), можна використовувати для елементів із поперечними перерізами класів 1 та 2:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} + \frac{B_{Ed}}{B_{Rd}} \leq 1,0, \quad (C.8)$$

де

$$B_{Rd} = \frac{W_{pl,B} f_y}{\gamma_{M0}}; \quad (C.9)$$

$W_{pl,B}$ – момент опору перерізу в пластичній стадії щодо бімоменту, див. 8.2.7(7).

(8) До поперечних перерізів класу 3 можна застосувати положення додатка В.

ДОДАТОК D

(обов'язковий)

НЕПЕРЕРВНІ ЗАКРІПЛЕННЯ БАЛОК У БУДІВЛЯХ

D.1 Сфера застосування та призначеність

(1)В У цьому додатку встановлено умови щодо жорсткості засобів закріплення балок у будівлях. Розглянуто дві ситуації: неперервне закріплення від поперечного переміщення завдяки ефекту діафрагми (див. D.2) або неперервне закріплення від кручення (див. D.3).

D.2 Неперервне закріплення від поперечного переміщення

(1)В У будівлях, в яких настили з листів із трапецієвидним профілюванням згідно з EN 1993-1-3 з'єднано з балкою та дотримано умови, вираженої у формулі (D.1), балку в місці з'єднання можна вважати закріпленою від поперечного переміщення в площині листового покриття.

$$S_v \geq \left(EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2}, \quad (D.1)$$

де

S_v — зсувна жорсткість (на одиницю довжини балки), забезпечувана листовим настилом, який обмежує деформування балки в площині листового покриття, приєднуваного до балки в нижній частині кожної хвилі;

I_w — секторіальний момент інерції поперечного перерізу (константа деформації);

I_T — момент інерції поперечного перерізу за вільного кручення (константа кручення);

I_z — момент інерції поперечного перерізу відносно малої осі поперечного перерізу;

L – прогін балки;

h – висота балки.

Якщо листовий настил приєднано до балки лише по кожній другій хвилі, то величину S_v замінюють на $0,20S_v$.

(2)В Умову, зазначену в формулі (D.1), можна також застосовувати для визначення стійкості щодо поперечного переміщення полиць балок, які використовують разом з іншими типами облицювання, крім покриття з листів із трапецієвидним профілюванням, за умови, що їхні з'єднання відповідно розраховано.

D.3 Неперервне закріплення від кручення

(1)В Балку можна вважати достатньо закріпленою від деформацій кручення, якщо дотримано умову в формулі (D.2):

$$C_D > \frac{M_{pl,Rk}^2}{EI_z} K_\theta K_v, \quad (D.2)$$

де

C_D – поворотна жорсткість (на одиницю довжини балки), забезпечувана для балки сталим суцільним середовищем (наприклад, конструкцією покрівлі) та з'єднаннями;

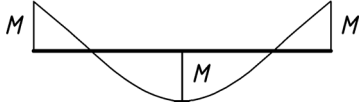
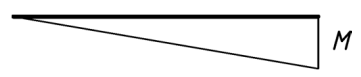
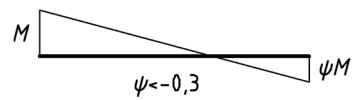
$K_v = 0,35$ для розрахунку опору поперечного перерізу в пружній стадії;

$K_v = 1,00$ для розрахунку опору поперечного перерізу в пластичній стадії;

K_θ – коефіцієнт для врахування розподілу моментів залежно від типу закріплення, типу перерізу та відношення висоти, h , до ширини, b , поперечного перерізу згідно з таблицею D.1;

$M_{pl,Rk}$ – характеристичне значення опору згинальному моменту в пластичній стадії балки.

Таблиця D.1 – Коефіцієнт K_θ для врахування розподілу моментів та типу закріплення

Ситуація	Розподіл моментів	Тип профілю	Без закріплення від поперечного переміщення		Із закріпленням від поперечного переміщення	
			$h/b \leq 2,0$	$h/b > 2,0$	$h/b \leq 2,0$	$h/b > 2,0$
1		Прокатний	11,0	21,4	0	0
		Зварний	36,0	60,5	0	0
2		Прокатний	8,8	15,5	0,073	0,16
		Зварний	29,9	51,7	0,23	0,63
3		Прокатний	8,0	17,4	0,085	0,19
		Зварний	27,8	48,6	0,28	0,74
4		Прокатний	3,2	7,7	0	0
		Зварний	9,7	19,3	0	0
5		Прокатний	0,73	1,4	0,60	0,75
		Зварний	1,5	2,7	1,0	1,8
6		Прокатний	0,44	0,77	0,35	0,49
		Зварний	0,87	1,5	0,56	0,99

(2)В Поворотну жорсткість, забезпечувану для балки сталим суцільним середовищем, можна визначити за допомогою формули:

$$\frac{1}{C_D} = \frac{1}{C_{D,C}} + \frac{1}{C_{D,B}} + \frac{1}{C_{D,A}}, \quad (D.3)$$

де

$C_{D,C}$ – поворотна жорсткість (на одиницю довжини балки), забезпечувана для балки сталим суцільним середовищем за припущення жорсткого з'єднання з елементом;

$C_{D,B}$ – поворотна жорсткість (на одиницю довжини балки), визначена за результатами розрахунку деформацій викривлення поперечного перерізу балки, в якому стиснута полиця є вільною; якщо стиснута полиця є закріпленою, або якщо деформації поперечного перерізу можна не враховувати (наприклад, у разі звичайних прокатних профілів), $C_{D,B} = \infty$;

$C_{D,A}$ – поворотна жорсткість (на одиницю довжини балки) з'єднання між балкою та сталим суцільним середовищем.

Примітка. В Детальнішу інформацію щодо визначення поворотної жорсткості див. у EN 1993-1-3.

ДОДАТОК Е

(довідковий)

ОСНОВНІ ПРАВИЛА КАЛІБРУВАННЯ ЧАСТКОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ

Е.1 Використання цього довідкового додатка

(1) Цей додаток містить додаткову до наведеної в 8.1 інформацію, що ґрунтується на калібруванні часткових коефіцієнтів, γ_{Mi} , які використовують для будівель. Наведена в цьому додатку інформація не призначена для безпосереднього використання в проектуванні.

Примітка. Параметри, відкриті для національного вибору, що пов'язані з застосуванням цього довідкового додатка, визначають у Національному додатку. Якщо в Національному додатку немає ніякої інформації, пов'язаної з застосуванням зазначених нижче положень, то цей довідковий додаток не застосовують.

Е.2 Сфера застосування та призначеність

(1) У цьому інформаційному додатку наведено статистичні дані щодо властивостей матеріалу та розмірів, які використовують для калібрування часткових коефіцієнтів, γ_{Mi} , для будівель.

Е.3 Калібрування

(1) Значення часткових коефіцієнтів для будівель згідно з 8.1 калібрують з урахуванням індексу надійності, який приймають таким, що дорівнює 3,8, для базового періоду 50 років, за змінних дій і властивостей матеріалу, а також пов'язаного з опором вагового коефіцієнта $\alpha_R = 0,8$.

(2) Згідно з EN 1993-1-1 розрахункові значення опору, R_d , визначають як співвідношення між номінальним значенням опору та частковим коефіцієнтом, γ_{Mi} . Величину номінального опору оцінюють

за допомогою номінальних значень для всіх основних змінних, див. формулу Е.1.

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{Mi}} = \frac{R(X_n)}{\gamma_{Mi}} \quad (\text{Е.1})$$

(3) Для калібрування часткових коефіцієнтів, γ_{Mi} , для будівель застосовують положення додатка D «Розрахунок за результатами випробувань» EN 1990. Припущення щодо смуги розкиду (середніх значень, коефіцієнтів варіації), прийняті для властивостей матеріалу та розмірів, наведено в таблицях Е.1 та Е.2, відповідно. Стосовно розмірних характеристик, які конкретно не зазначено у таблиці Е.2, припускають, що їх середні значення дорівнюють номінальним значенням, а стандартні відхилення дорівнюють половині інтервалу між номінальним значенням і нижньою межею інтервалу застосовного допуску, встановленого в EN 1090-2 чи інших застосовних стандартах на продукцію.

(4) Смуги розкиду значень параметрів X , пов'язаних із виробництвом, зазвичай, можна вважати такими, що відповідають припущенням, сформульованим для калібрування значень γ_{Mi} для будівель, якщо характеристичне значення, X_k , та розрахункове значення, X_d , визначувані за статистичними даними процесу виробництва, збігаються або перевищують відповідні референтні значення $X_{5\%}$ та $X_{0,12\%}$, наведені в таблицях Е.1 та Е.2. Значення X_k та X_d , пов'язані зі статистичними даними виробництва, можна визначити за допомогою методів згідно з додатком D EN 1990. Застосовні в ньому значення імовірності неперевищення становлять 5 % та 0,12 % відповідно.

Примітка. Наведені в таблицях Е.1 та Е.2 значення є репрезентативними для наявних на європейському ринку матеріалів та виробів, які відповідають застосовним європейським стандартам на продукцію.

Таблиця Е.1 – Передбачена варіативність властивостей матеріалу

Параметр	Марка сталі	Середнє значення, X_m	Коефіцієнт варіації	Верхнє референтне значення, $X_{5\%}$	Нижнє референтне значення, $X_{0,12\%}$
Границя текучості, f_y	S235, S275	$1,25R_{eH,min}^a$	5,5 %	$1,14R_{eH,min}^a$	$1,06R_{eH,min}^a$
	S355, S420	$1,20R_{eH,min}^a$	5,0 %	$1,11R_{eH,min}^a$	$1,03R_{eH,min}^a$
	S460	$1,15R_{eH,min}^a$	4,5 %	$1,07R_{eH,min}^a$	$1,00R_{eH,min}^a$
	Вище S460	$1,10R_{eH,min}^a$	3,5 %	$1,04R_{eH,min}^a$	$1,00R_{eH,min}^a$
Границя міцності за розтягу, f_u	S235, S275	$1,20R_{m,min}^a$	5,0 %	$1,11R_{m,min}^a$	$1,03R_{m,min}^a$
	S355, S420	$1,15R_{m,min}^a$	4,0 %	$1,08R_{m,min}^a$	$1,02R_{m,min}^a$
	S460 та вищі	$1,10R_{m,min}^a$	3,5 %	$1,04R_{m,min}^a$	$1,00R_{m,min}^a$
Модуль пружності, E	Всі марки сталі	210 000 Н/мм ²	3,0 %	200 000 Н/мм ²	192 000 Н/мм ²
^a $R_{eH,min}$ та $R_{m,min}$ – мінімальне значення границі текучості, R_{eH} , та нижнє граничне значення межі міцності за розтягу, R_m , згідно із застосовним стандартом на продукцію, наприклад, EN 10025 (усі частини)					

Таблиця Е.2 – Передбачена варіативність розмірних параметрів

Тип розміру	Параметр	Середнє значення, X_m	Коефіцієнт варіації	Верхнє референтне значення, $X_{5\%}$	Нижнє референтне значення, $X_{0,12\%}$
Зовнішні розміри поперечного перерізу	Висота, h	$1,0h_{nom}^a$	0,9 %	$0,98h_{nom}^a$	$0,97h_{nom}^a$
	Ширина, b	$1,0b_{nom}^a$	0,9 %	$0,98b_{nom}^a$	$0,97b_{nom}^a$
	Зовнішній діаметр, d , порожнистого профілю з круглим перерізом	$1,0d_{nom}^a$	0,5 %	$0,99d_{nom}^a$	$0,98d_{nom}^a$

Кінець таблиці E.2

Тип розміру	Параметр	Середнє значення, X_m	Коефі- цієнт варіації	Верхнє референтне значення, $X_{5\%}$	Нижнє референтне значення, $X_{0,12\%}$
Товщина	Прокатні та зварні двотаврові профілі з I- та H-подібними перерізами: товщина полиці, t_f	$0,98t_{f,nom}^a$	2,5 %	$0,95t_{f,nom}^a$	$0,91t_{f,nom}^a$
	Прокатні та зварні двотаврові профілі з I- та H-подібними перерізами: товщина стінки, t_w	$1,0t_{w,nom}^a$	2,5 %	$0,96t_{w,nom}^a$	$0,93t_{w,nom}^a$
	Гарячекатані (безшовні) чи зварні конструкційні порожнисті профілі (згідно з EN 10210 (усі частини)): товщина стінки, t	$0,99t_{nom}^a$	2,5 %	$0,95t_{nom}^a$	$0,92t_{nom}^a$
	Холодноформовані профілі з рулонної чи листової сталі (згідно з EN 10219 (усі частини)): товщина стінки, t	$0,99t_{nom}^a$	2,5 %	$0,95t_{nom}^a$	$0,92t_{nom}^a$
	Інші зварні профілі з товстого листа: товщина, t	$0,99t_{nom}^a$	2,5 %	$0,95t_{nom}^a$	$0,92t_{nom}^a$
^a Номінальні розміри згідно з застосовним стандартом чи специфікацією на продукцію					

БІБЛІОГРАФІЯ

Нормативні документи, посилання на які містять положення цього стандарту, сформульовані як рекомендація (за використання дієслова «should»)

Нижче наведено документи, посилання на які містять положення цього стандарту так, що частина або весь їхній зміст, хоч і не становлять вимог, яких треба суворо дотримувати, але є настійно рекомендованим варіантом чи способом дії згідно з цим стандартом. Відповідно до національного законодавства та/або будь-яких відповідних договірних положень може бути використано/ прийнято альтернативні стандарти, якщо це технічно обґрунтовано. У разі датованих посилань застосовують лише наведені видання. У разі недатованих посилань застосовують останнє видання зазначеного в посиланні документа (разом зі змінами).

EN 1993 (all parts) Eurocode 3: Design of steel structures

EN 1998 (all parts) Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance

EN 10025 (all parts) Hot rolled products of structural steels

EN 10149 (all parts) Hot rolled flat products made of high yield strength steels for cold forming

EN 10164 Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product – Technical delivery conditions

EN 10210 (all parts) Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels

EN 10219 (all parts) Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 1993 (всі частини) Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій

EN 1998 (всі частини) Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій

EN 10025 (всі частини) Вироби гарячекатані з конструкційної сталі

EN 10149 (всі частини) Вироби із сталі з високою границею текучості плоскі гарячекатані для холодного формозмінювання

EN 10164 Вироби сталеві з поліпшеними деформаційними властивостями у перпендикулярному напрямку до поверхні виробу. Технічні умови постачання

EN 10210 (всі частини) Профілі порожнисті гарячого оброблення з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій

EN 10219 (всі частини) Профілі порожнисті зварні холодного формування з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій

Нормативні документи, посилання на які містять положення цього стандарту, сформульовані як допустимі/дозволені умови (за використання дієслова «may»)

Нижче наведено документи, посилання на які містять положення цього стандарту так, що частина або весь їхній зміст, хоч і не становить вимог, яких треба суворо дотримувати, але визначають способи дії, допустимі у межах сфери застосування Єврокодів. У разі датованих посилань застосовують лише наведені видання. У разі недатованих посилань застосовують останнє видання зазначеного в посиланні документа (разом зі змінами).

EN 10365 Hot rolled steel channels, I and H sections – Dimensions and masses

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN 10365 Гарячекатані сталеві швелери, двотаврові профілі з І-подібними та Н-подібними перерізами. Розміри та маса

Інші нормативні документи

Нижче наведено документи, посилання на які містять положення цього стандарту, які не віднесено до зазначених вище категорій, але наведено в цьому стандарті як довідкову інформацію, наприклад, у примітках.

EN ISO 1461 Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles – Specifications and test methods (ISO 1461)

EN ISO 12944 (all parts) Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems

CEN/TS 1993-1-101 Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-101: Alternative interaction method for members in bending and compression

prCEN/TR 1993-1-103⁶ Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-103: Elastic critical buckling of members

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

EN ISO 1461 Покриття, нанесене методом гарячого цинкування на вироби із чавуну та сталі. Технічні вимоги та методи випробування (ISO 1461)

EN ISO 12944 (всі частини) Фарби та лаки. Захист від корозії

⁶ На розгляді.

сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами

CEN/TS 1993-1-101 Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-101. Альтернативний спосіб взаємодії елементів за згину та стиску

prCEN/TR 1993-1-103 Єврокод 3. Проєктування сталевих конструкцій. Частина 1-103. Втрата стійкості елементів за критичного навантаження у пружній стадії

ДОДАТОК НА

(довідковий)

ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ, ІДЕНТИЧНИХ ЄВРОПЕЙСЬКИМ ТА МІЖНАРОДНИМ НОРМАТИВНИМ ДОКУМЕНТАМ, ПОСИЛАННЯ НА ЯКІ Є В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ

ДСТУ EN 1090-2:2019 (EN 1090-2:2018, IDT) Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій

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

ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-1. Загальні дії. Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження для споруд (EN 1991-1-1:2002, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-3. Загальні дії. Снігові навантаження (EN 1991-1-3:2003, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-4. Загальні дії. Вітрові навантаження (EN 1991-1-4:2005, IDT+NA:2013)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-5. Загальні дії. Теплові дії (EN 1991-1-5:2003, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції.
Частина 1-6. Загальні дії. Дії під час зведення (EN 1991-1-6:2005, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції.
Частина 1-7. Загальні дії. Особливі динамічні впливи
(EN 1991-1-7:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції.
Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-3:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції.
Частина 3. Дії викликані кранами та обладнанням (EN 1991-3:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції.
Частина 4. Бункери і резервуари (EN 1991-4:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих
конструкцій . Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок
конструкції на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих
конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для
холодноформованих елементів і профільованих листів
(EN 1993-1-3:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих
конструкцій. Частина 1-4. Загальні положення. Додаткові правила для
нержавіючої сталі (EN 1993-1-4:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих
конструкцій. Частина 1-5. Пластинчасті конструктивні елементи
(EN 1993-1-5:2006, IDT)

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)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-7:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-7. Пластинчасті конструкції при навантаженні поза межами площини (EN 1993-1-7:2007, IDT)

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)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-9:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-9. Витривалість (EN 1993-1-9:2005, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-10:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-10. Властивості тріщиностійкості і міцності матеріалу у напрямі товщини прокату (EN 1993-1-10:2005, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-11:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-11. Проектування конструкцій з розтягнутими елементами (EN 1993-1-11:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-1-12:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-12. Додаткові правила до EN 1993 для сталей класів не вище S 700 (EN 1993-1-12:2007, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-2:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 2. Сталеві мости (EN 1993-2:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-3-1:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 3-1. Башти, щогли і димові труби. Башти і щогли (EN 1993-3-1:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-3-2:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 3-2. Башти, щогли і димові труби. Димові труби (EN 1993-3-2:2006, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-1. Силоси (EN 1993-4-1:2007, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-4-2:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-2. Резервуари (EN 1993-4-2:2007, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-4-3:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 4-3. Трубопроводи (EN 1993-4-3:2007, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-5:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 5. Палі (EN 1993-5:2007, IDT)

ДСТУ-Н Б EN 1993-6:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 6. Підкранові конструкції (EN 1993-6:2007, IDT)