

верхніх поясів ферм) і «відкрита» проїзна частина (така, що не має поздовжніх в'язей по поясах) у залізничних мостах допускаються тільки за умови закріплення вільних поясів жорсткими рамами в площинах поперечних балок, а в проїзній частині – поперечними в'язями.

За наявності елементів, таких, що жорстко з'єднують пояси балок або ферм (наприклад, залізобетонної або сталеві плити), допускається не влаштовувати поздовжні в'язі у відповідній площині, якщо вони не потрібні за умовами монтажу.

В аркових прогонових будовах поздовжні в'язі влаштовують в площині одного з поясів арок і в площині проїзної частини, якщо вона не має плити; для решітчастих арок передбачають поперечні в'язі між ними і поздовжні в'язі по обох поясах (рисунок 16.1).

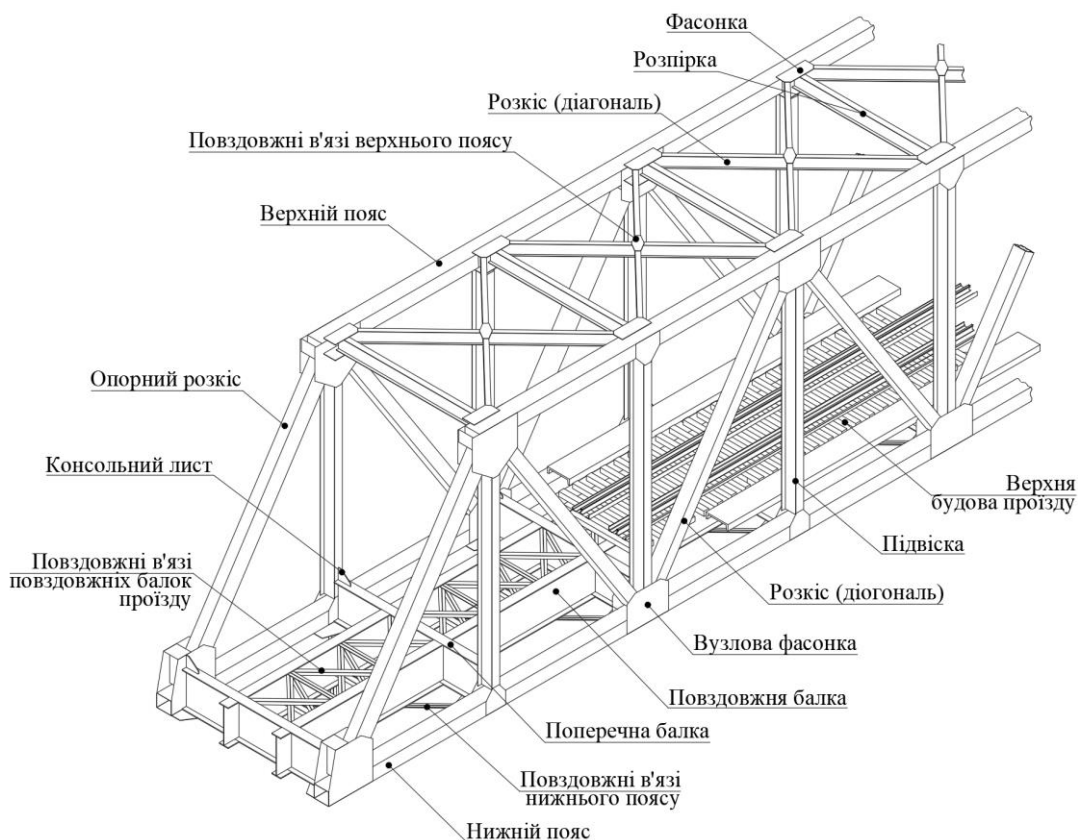


Рисунок 16.1 – Стандартна схема і назви елементів залізничної решітчастої ферми

16.2.2 Поздовжні в'язі слід центрувати в плані з поясами головних ферм, ексцентриситети в прикріпленні з площини в'язей мають бути мінімальними.

16.2.3 У залізничних мостах із мостовим полотном з поперечинами відстань між осями поздовжніх балок слід призначати 1,90 м, а між осями головних балок (ферм) за відсутності балкової клітини – 2,0 м. У випадку більшої відстані між осями головних балок (ферм) слід передбачати влаштування залізобетонної або сталевий плити.

16.2.4 У залізничних мостах прогонові будови з роздільними двотавровими балками і поздовжні балки проїзної частини повинні мати поперечні в'язі, що розташовані на відстанях, не більших ніж дві висоти балки.

16.2.5 Для зниження напружень у поперечних балках проїзної частини від деформації поясів головних ферм, проїзну частину рекомендується включати в спільну роботу з головними фермами. У прогонових будовах із проїзною частиною, не включеною в спільну роботу з головними фермами, слід передбачати гальмівні в'язі.

16.2.6 Прикріплення балок проїзної частини за допомогою торцевих листів, приварених до стінки і поясів балки, не допускається.

У прогонових будовах залізничних мостів прикріплення стінок поздовжніх і поперечних балок рекомендується здійснювати за допомогою вертикальних кутиків і фрикційних з'єднань.

16.2.7 Під час конструювання вузлів ферм, забезпечують місцеву стійкість стиснутих зон вузлових фасонки відповідною товщиною, або підкріплюючи вільні кромки кутиками або ребрами.

16.2.8 Для зменшення кількості з'єднувальних зварних швів перерізи складених елементів решітчастих ферм слід проєктувати з мінімальної кількості деталей.

16.2.9 У решітчастих головних фермах матеріал елементів коробчастого і Н-подібного перерізів має бути сконцентрований у листах, розташованих у площині ферми. Пояси, стиснуті елементи ферм і опор рекомендується проєктувати коробчастого перерізу.

16.2.10 У випадку мостового полотна з дерев'яними поперечинами слід забезпечувати центровану передачу тиску поперечин на стінки головних або

поздовжніх балок, а дотик поперечин до елементів поздовжніх і поперечних в'язей під дією навантаження має бути виключено.

16.3 Перерізи елементів

16.3.1 Найменшу товщину деталей елементів прогонових будов і опор приймають на основі розрахунку міцності, стійкості, витривалості, жорсткості і коливань, але не менше зазначеної в таблиці 16.1.

Таблиця 16.1 – Найменша товщина деталей елементів прогонових будов і опор мостів та труб

Деталі конструкції	Найменша товщина або переріз елементів конструкції в мостах і трубах, мм	
	залізничних	автомобільних, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт, пішохідних
1. Листові хвилясті профілі для металевих гофрованих труб	2	1,5
2. Листові деталі (за винятком деталей, зазначених у поз. 3–9)	10	10
3. Вузлові фасонки головних ферм і вертикальні стінки зварних зігнутих головних балок	12	10
4. Вузлові фасонки в'язей	10	8
5. Накладки в стиках ребер ортотропної плити і планки	8	8
6. Прокладки	4	4
7. Горизонтальні опорні листи	20	20
8. Листи настилу ортотропних плит проїзду	12	14 (10)*
9. Штабові ребра ортотропних плит	12	12
Замкнені ребра ортотропних плит	6	6
10. Кутики в основних елементах головних ферм і проїзної частини	100×100×10	100×100×10
11. Кутики фланцевих прикріплень поздовжніх і поперечних балок	100×100×12	100×100×12
12. Кутики в елементах в'язей	80×80×8	80×80×7
* для пішохідних мостів		

Дозволяється така найбільша товщина прокату:

- у пакетах деталей, які стягують звичайними болтами – 20 мм;
- у зварних елементах з вуглецевої і низьколегованої сталей – 60 мм;
- у стикових накладках і вузлових фасонних листах фрикційних з'єднань – 15 мм.

16.3.2 У складених елементах решітчастих ферм відношення

розрахункової ширини b до товщини t листів не повинно перевищувати таких величин:

- у вертикальних і горизонтальних листів коробчастих елементів – 60;
- у горизонтальних листів Н-подібних елементів – 45;
- у листах з вільними (необлямованими) звисами – 20;
- у листах зі звисами, облямованими кутиками або ребрами – 30.

За розрахункову ширину b для пластинок обпертих двома кромками приймають відстань між закріпленими кромками або між вільною кромкою і закріпленням. За вісь закріплення приймають вісь болтів або вісь зварного шва.

16.3.3 У стиснутих елементах Н-подібного перерізу товщина горизонтального листа має становити від товщини t_f листів, які з'єднують не менше ніж:

$0,4 \cdot t_f$ – в елементах з болтовими з'єднаннями;

$0,6 \cdot t_f$ – у зварних і прокатних елементах у випадку $t_f \leq 24$ мм і $0,5 \cdot t_f$ у випадку $t_f > 24$ мм.

16.4 Заміна товщини поясних листів. Пакети з двох і більше листів

16.4.1 У нерозрізних балкових мостах зміну товщини поясів рекомендується виконувати в місцях монтажних стиків балок. Кількість зміни товщини поясів рекомендується виконувати не частіше, ніж показано на рисунку 16.2.

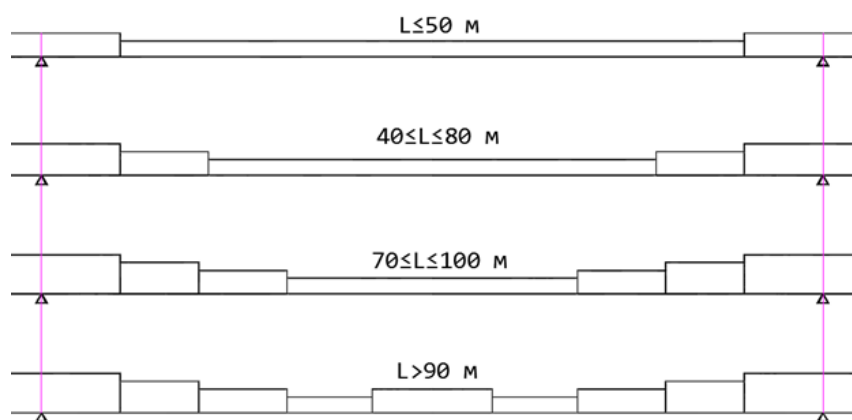


Рисунок 16.2 – Зміни товщин поясів балок по довжині прогону L

16.4.2 Фактичну зміну товщини поясу слід подовжити за місце теоретичного обриву на довжину ширини поясу або на половину ширину поясу

16.4.3 Пакети з двох і більше поясних листів можуть бути утворені з розміщенням додаткового листа поясу, як з боку стінки балки, так і з зовнішнього боку. Схема обриву додаткового листа показана на рисунку 16.3.

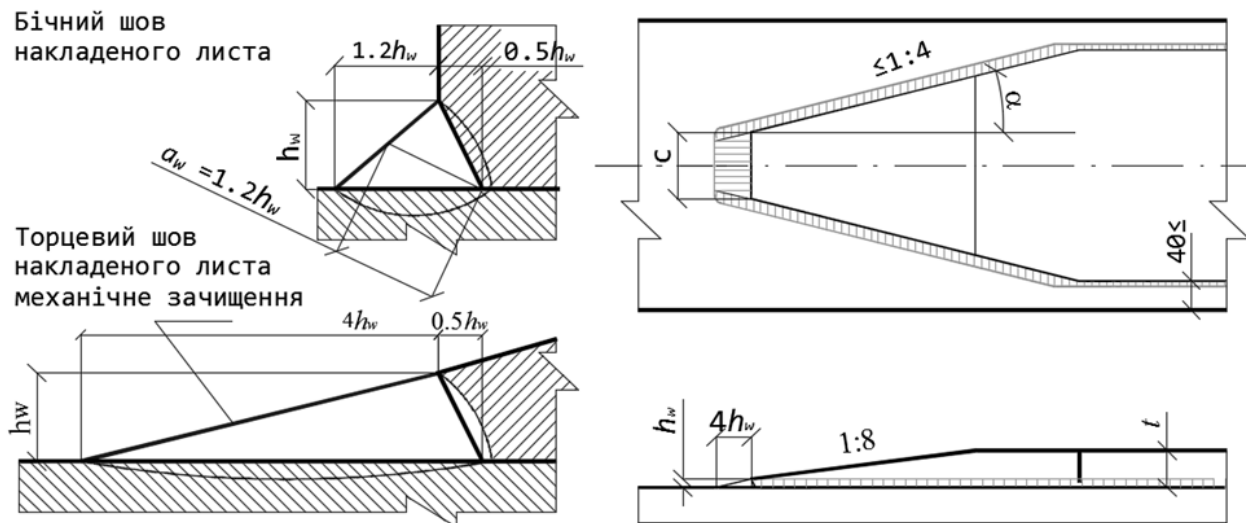
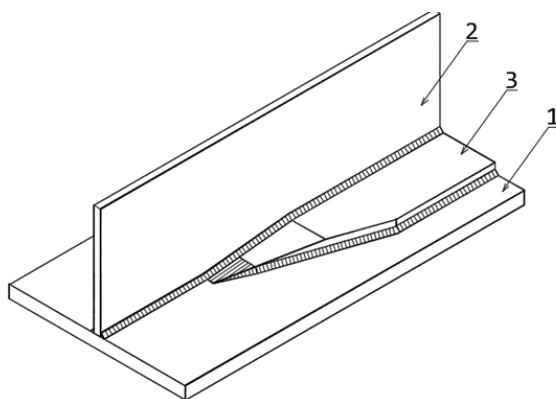


Рисунок 16.3 – Схема обриву додаткового листа

Допускається розрахунки швів не виконувати, якщо розмір шва прийнятий рівним $h_w \geq 0,5 \cdot t$, де t – товщина накладеного листа.

16.4.4 Розмір C , притуплення кінця додаткового листа, приймають не меншим ніж 50 мм, у випадку приварки стінки до листа, як показано на рисунку 16.4.



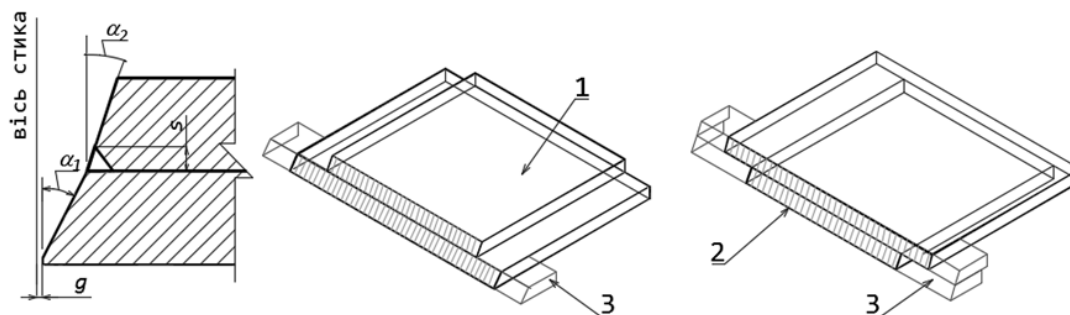
Умовні позначки:

- 1 – пояс балки;
- 2 – стінка балки;
- 3 – накладений лист поясу.

Рисунок 16.4 – Схема приварки стінки по місцю обриву додаткового листа

16.4.5 Стик пакету з двох листів має виконуватися з обробкою кромки

і на вивідних планках, як показано на рисунку 16.5.



Умовні позначки:

- 1 – додатковий лист поясу зверху;
- 2 – додатковий лист поясу знизу;
- 3 – вивідні планки.

Рисунок 16.5 – Схема обробки кромки у пакеті листів і розміщення вивідних планок

Розроблення технології монтажного зварювання пакету листів виконують відповідно до специфікації, розробленої згідно з ДСТУ EN 1090-2. Кути обробки листів α_1 і α_2 , зварювальний зазор g і розмір шва s , потрібно надавати в кресленнях КМ і, за необхідності, у специфікації.

16.4.6 У випадку посилення поясів коробки накладними листами, відношення ширини до товщини листів потрібно обмежувати як для стиснутих пластинок обпертих двома сторонами відповідно до п. 11.2. У цьому випадку широкі листи потрібно розділяти на смуги, як показано на рисунку 16.6.

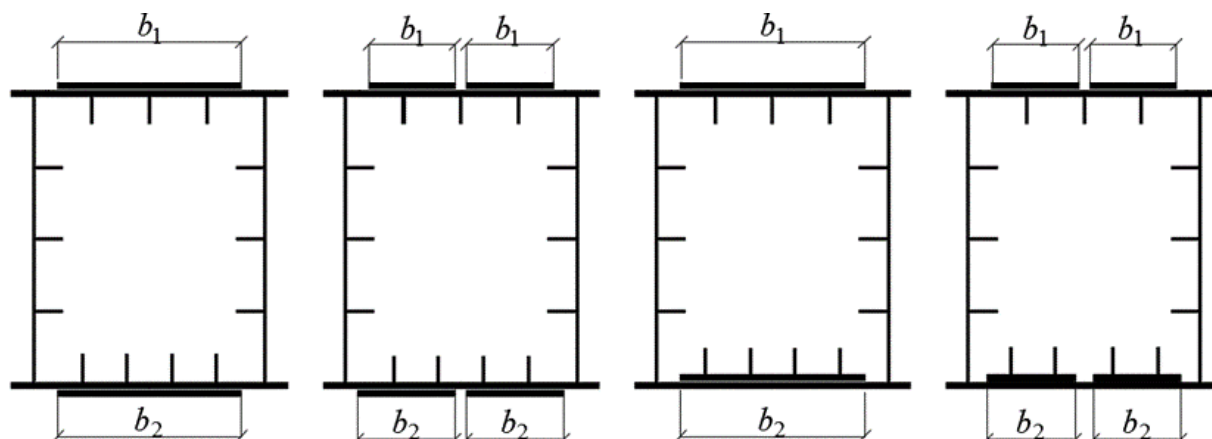


Рисунок 16.6 – Схеми посилення поясів коробок накладними листами зовні і в середині коробок

16.5 Ребра жорсткості відкритих балок і коробок

16.5.1 Стінки відкритих і коробчастих балок слід укріплювати системою поздовжніх і поперечних ребер. Конфігурація поперечних ребер штабова або таврова. Поздовжні ребра можуть бути штабовими, кутиковими, тавровими або замкненими.

16.5.2 Вимоги до жорсткості і стійкості поздовжніх і поперечних ребер надані в розділі Е.2 додатку Е.

16.5.3 Поздовжні ребра слід пропускати у вирізах у стінках поперечних ребер. Розмір вирізу для пропускання ребра обмежують значенням $2/3 \cdot b_{w,c}$, де $b_{w,c}$ – ширина стінки поперечного ребра. У стиснених ситуаціях, допускаються конструкції в яких поперечні ребра перериваються і приварюються до поздовжніх. Переривати поздовжні ребра в місцях поперечних не можна, крім місць примикання до опорних ребер.

16.5.4 Поперечне ребро слід приварювати до поясу головної балки кутовими швами по контуру з відношенням катетів 1:1, якщо немає інших вимог. Якщо ребро таврове, то пояс ребра слід обривати на відстані від 60 мм до 100 мм від поясу.

16.5.5 У разі обривання поздовжнього ребра, останні 100 мм шва виконують з повним проваром, а ребро має бути скошене під кутом 30° до ширини 20 мм і далі, механічно оброблене радіусом 50 мм врівень з основним металом. Допускається інша конструкція обриву ребра, якщо вона підтверджена розрахунком витривалості.

16.5.6 Всі поперечні ребра повинні мати вирізи в кутах примикання поясів і стінок з розмірами вздовж стінки від 60 мм до 120 мм і по ширині поясу від 40 мм до 50 мм. Кутові шви приварки ребра мають бути замкнені по контуру. У місцях передачі зосереджених сил вирізи можуть бути зменшені або зовсім відсутніми, а шви можуть виконуватися з повним проплавленням.

16.5.7 У балках під потяги, за умови обґрунтування витривалості розрахунком, допускається постановка на кінцях поперечних ребер спеціальних перехідних деталей приварених до ребра і щільно обпертих на пояс.

16.5.8 Шви приварки поздовжніх і поперечних ребер мають бути віддалені від паралельним до них стиковим швам стінки на 10 товщин стінки. Віддалення від стикового шва пера або обушка кутика, який прикріплюють до стінки болтами має становити 5 товщин стінки. Шви приварки поздовжніх і поперечних ребер не повинні перериватися на перпендикулярним до них стикових швів стінки.

16.6 Попередньо напружені прогонові будови

16.6.1 Зусилля і деформації, що виникають в конструкції мосту без прикладання зовнішніх зусиль, у тому числі і від власної ваги, слід вважати попереднім напруженням. У нерозрізних балках попереднє напруження створюється від згину балки за рахунок підняття-опускання балки на опорах. У висячих і вантових мостах – за рахунок зміни довжини канатних елементів.

16.6.2 Попереднє напруження, що створюється канатними елементами, для зменшення розтягуючих зусиль в елементах мосту, можна виконувати у фермах, у нерозрізних балках, у прогонах і в опорних зонах. Місця прикріплення канатних елементів до балки і місця для зміни їх напрямку слід проєктувати на основі розрахунків міцності, стійкості і витривалості, з урахуванням вимог додатку Л.

16.7 Деталі конструкцій

16.7.1 Загальні критерії конструювання сталевих мостових конструкцій щодо захисту від корозії визначають згідно з ДСТУ ISO 12944-3.

16.7.2 Гілки стиснутих складених стрижнів з болтовими з'єднаннями, а також стиснуто-зігнуті зварні елементи в місцях впливу зосереджених сил повинні бути підкріплені поперечними діафрагмами. У зварних коробчастих і Н-подібних елементах ферм діафрагми рекомендується приварювати або прикріплювати на болтах тільки до вертикальних листів із зазором між діафрагмами і горизонтальними листами не меншим ніж 50 мм.

16.7.3 Приварювання допоміжних деталей (кронштейнів, елементів перил і тротуарів, навігаційних знаків, сигналів тощо) до елементів несних

конструкцій рекомендується виконувати через проміжні елементи, для яких є можливість виконання зварного шва по контуру. Матеріал прокату і зварювальних матеріалів має відповідати додатку Б.

16.7.4 Проектування зварних з'єднань несних елементів прогонових будов виконують шляхом оцінки витривалості, на основі порівняння категорій утоми відповідно до додатку Ж.

16.7.5 Поперечні стикові шви поясів і стінок балок, у тому числі шви будь якого напрямку листів настилу ортотропних плит проїзду мають відповідати вимогам, наданим на рисунку 16.7.

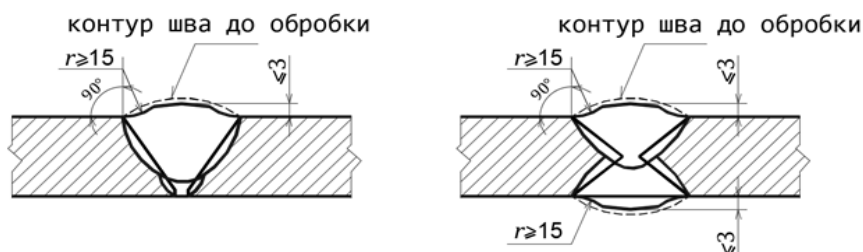


Рисунок 16.7 – Схема механічної обробки стикових двобічних швів і швів виконаних з одного боку

Для залізничних мостів у розтягнутих та стиснуто-розтягнутих зонах має бути передбачена механічна обробка швів зварювання від металу шва до основного металу радіусом не менше ніж 15 мм; ці вимоги поширюються на зони поперечних стикових швів стінки балок на довжині 40 % висоти розтягнутої зони, але не менше ніж 200 мм від розтягнутого поясу (див. рисунок 16.7).

16.7.6 Зварні стикові шви ортотропних плит, що не зазнають впливу тимчасового навантаження, можуть не мати механічного зачищення швів у випадку плавних переходів до основного металу, посилення шва менше ніж 10 % товщини листів і відсутності місць старт/зупинка. Допускається, за відсутності місцевого навантаження, для поздовжніх швів листів нижніх плит коробчастих балок виконувати зварювання не на повну товщину листів, як показано на рисунку 16.8.

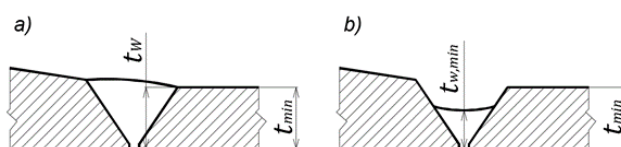
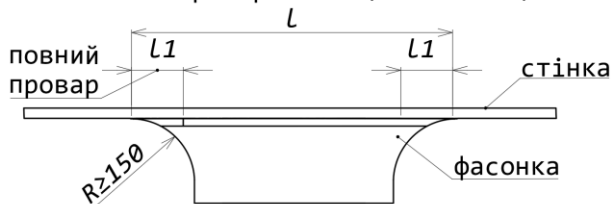


Рисунок 16.8 – Стикові шви листів на повну товщину (ліворуч) і не на повну товщину (праворуч)

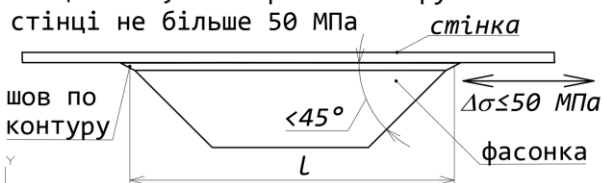
16.7.7 Місця постановки поздовжніх і поперечних в'язей розраховують за міцністю, стійкістю і витривалістю. Слід дотримуватись наступних умов:

- не можна приварювати в'язі безпосередньо до поясів балок прогонових будов усіх призначень;
- приєднання поздовжніх в'язей виконують за допомогою горизонтальних фасонки, які приєднують до поясів і стінок; форми фасонки, правила зварення і механічної обробки показані на рисунку 16.9. Для випадку, коли розмах розрахункових змінних навантажень у стінці балки вздовж фасонки не перевищує 50 МПа, допускається приварювати фасонку по контуру кутовими швами без зачищення. В усіх інших випадках кінці фасонки повинні мати повний провар і бути механічно зачищені з рисками вздовж зусиль;

Приварка фасонки до стінки кутовими швами з повним проваром кінців і зачищенням



Приварка фасонки до стінки кутовими швами по контуру без зачищення кінців шва, коли розмах напружень в стінці не більше 50 МПа



Приварка фасонки до поясу балки з повним проваром кінців і зачищенням

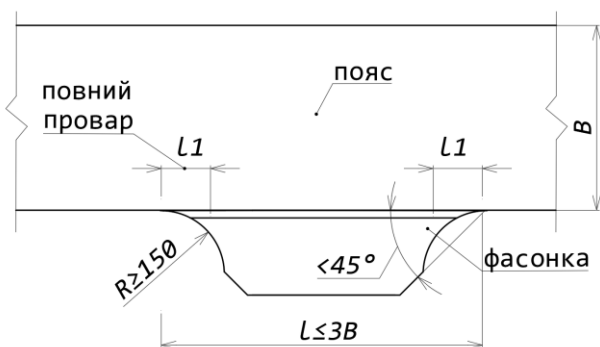


Рисунок 16.9 – Фасонки поздовжніх в'язей: приварені до стінки (ліворуч); приварені до поясу (праворуч)

- місця постановки фасонки на стінку підкріплюють поперечними ребрами; у випадку, якщо зазначені фасонки перетинаються з поперечними ребрами жорсткості, фасонку слід виконувати без розривів, поперечне ребро переривати, а шви фасонки до ребра виконувати з відношенням катетів 1:2 (більший катет вздовж фасонки);

- у прогонових будовах залізничних мостів не допускається приварювати елементи поздовжніх і поперечних в'язей до ребер жорсткості і фасонки в'язей до поясів, прокладок – до основних елементів;

– для прогонових будов всіх інших мостів необхідність застосування механічної обробки слід передбачати в проєкті з урахуванням результатів розрахунку на витривалість;

– для коробчастих перерізів елементів залізничних ферм накладання і обробку швів виконують відповідно до рисунку 16.10.

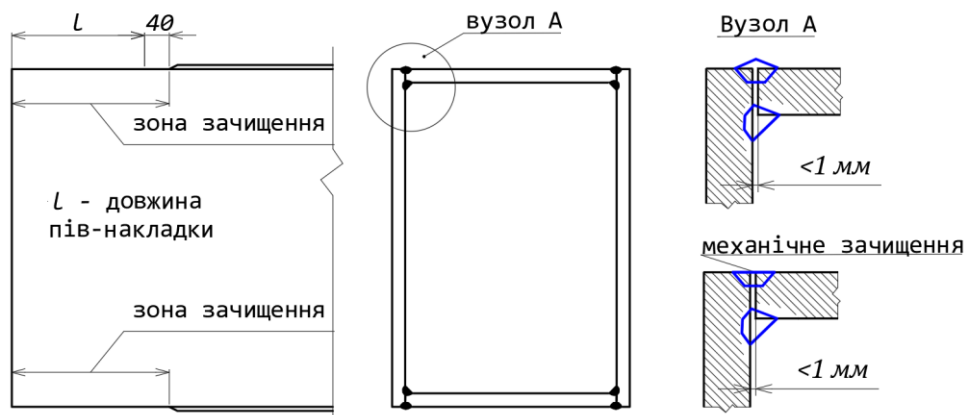


Рисунок 16.10 – Схема обробки посилення шва зварювання коробчастого перерізу

16.7.8 У суцільнозварних прогонових будовах автодорожніх, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт, пішохідних мостів елементи в'язей, які зварюють внапуск до фасонки, слід прикріплювати двома фланговими і двома лобовими швами; елементи в'язей з парних кутиків, симетрично розташованих відносно фасонки, допускається прикріплювати двома фланговими й одним лобовим (торцевим) швами.

Відстані між швами прикріплень елементів в'язей і швами, що прикріплюють фасонки до стінки балки, а також до поперечних ребер жорсткості, повинні бути не меншими ніж 60 мм.

16.7.9 Протиугони допускається приварювати до верхнього поясу зварних балок поздовжніми і поперечними кутовими швами. Для поперечних швів необхідно передбачати заходи до зниження концентрації напружень, а також механічну обробку для отримання плавних переходів (радіусом не меншим ніж 5 мм) до основного металу.

16.7.10 Вимоги до проєктування канатних елементів надані в додатку П.

16.8 Конструкція планок і перфорованих листів

16.8.1 У зварних коробчастих і Н-подібних елементах головних ферм залізничних мостів допускається застосування тільки суцільних або перфорованих горизонтальних листів. З'єднувальні планки допускаються тільки в елементах в'язей залізничних мостів і в тих елементах автодорожніх, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт, пішохідних мостів, для яких з'єднання планок з основними частинами перерізу можливо здійснити без спеціальних заходів для зниження концентрації напружень.

16.8.2 Довжина проміжних планок L_s вздовж елемента має бути не меншою від $0,75 \cdot a$, де a – відстань між рядами болтів (або зварними швами) прикріплення планки. Кінцеві планки в стиснутих і стиснуто-розтягнутих елементах слід виконувати у 1,7 рази довшими від проміжних, а в розтягнутих – у 1,3 рази. Кінцеві планки повинні ставитися якомога ближче до вузла.

У зварних коробчастих і Н-подібних елементах допускається вихід перфорації на торець елемента.

16.8.3 Число болтів для прикріплення однієї сторони планки має бути не меншим ніж:

- для елементів, що працюють на тимчасове навантаження – 4 шт.;
- для елементів, що працюють тільки на постійне навантаження – 3 шт.;
- для неробочих елементів – 2 шт.

16.9 Особливості конструкції болто-зварних прогонових будов

16.9.1 У болто-зварних прогонових будовах допускається застосування стикових і накладних компенсаторів ослаблення перерізу елементів болтовими отворами. Посилення можна виконувати по один бік від листа (рисунок 16.11) або по обидва боки.

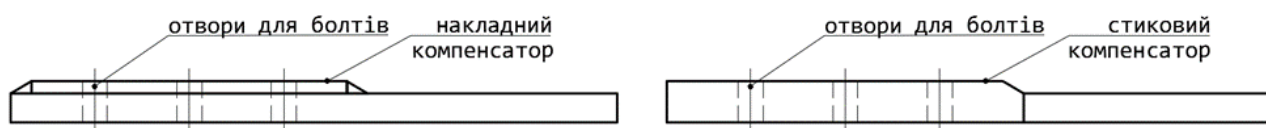


Рисунок 16.11 – Компенсатори: накладний (ліворуч); стиковий (праворуч)

На кінцях стикових компенсаторів біля стиків слід передбачати скоси по товщині з ухилом 1:4 і механічну обробку. У накладних компенсаторах слід передбачати скоси по ширині з ухилом 1:1. Для косих швів слід приймати відношення катетів 1:2. Для забезпечення плавних (радіусом не менше ніж 5 мм) переходів від шва до основного металу необхідно передбачати обробку косих швів на кінці компенсатора. Косі шви і ділянки поздовжніх швів до першого ряду отворів повинні забезпечувати повне прикріплення площі компенсатора. Ширина накладного компенсатора зі сталі класу міцності С245, С345 і С 390, має бути відповідно не більша ніж 44, 38 і 36 його товщин. Якщо потрібна більша ширина, слід застосовувати два роздільних компенсатори, а відстань між їхніми швами повинна бути не меншою ніж 60 мм. Відстань від центра болта до краю компенсатора має бути не меншою подвоєного діаметра отвору під болт.

16.9.2 Для решітчастих болто-зварних ферм прогонових будов автодорожніх, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт, пішохідних мостів допускається застосування вузлових фасонки-вставок і фасонки-приставок, які з'єднують з поясами за допомогою зварювання (рисунок 16.12).

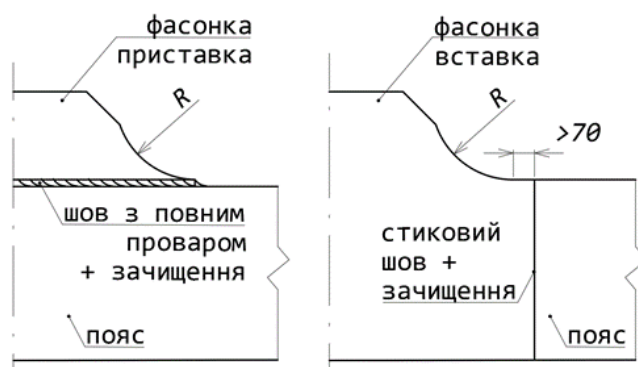


Рисунок 16.12 – Фасонки поясу

Вузлові фасонки-вставки і фасонки-приставки повинні мати плавні переходи (радіусом не менше ніж 250 мм) до поясу. Відстань від стику поясу і фасонки-вставки до початку викружки в ній повинна прийматися не меншою ніж 70 мм. Для стикових швів фасонки-вставок розтягнутого і стиснуто-розтягнутого

поясів належить передбачати механічну обробку. У фасонік-приставок слід передбачати повне проплавлення всієї товщини і можливість його неруйнівного контролю, а також механічну обробку кінців фасонік.

16.9.3 Поясні листи поздовжніх і поперечних балок можуть мати довжину меншу, ніж довжина стінки, за умови влаштування на кутах стінки прямокутних округлених (з радіусом 15 мм) вирізів, вертикальна крайка яких збігається з торцем поясного листа, що обривається. Подібні вирізи повинні мати також фасонки, що приварюють до верхнього поясу поперечної балки для збільшення висоти її стінки в зоні прикріплення до головних ферм (рисунок 16.13).

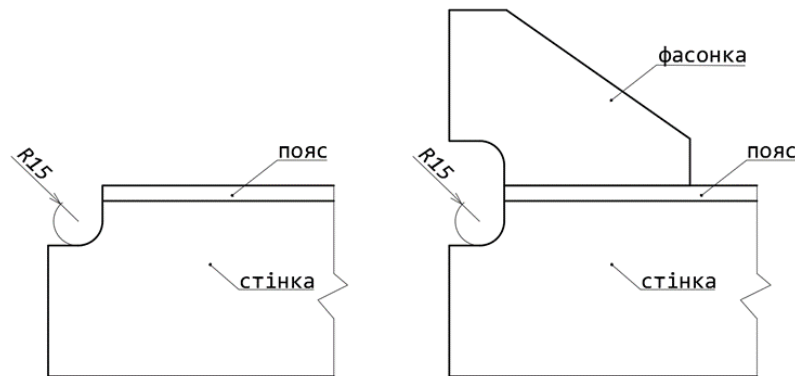


Рисунок 16.13 – Примикання поясу до стінки

Двотаврові балки, у яких пояс не доведений до кінця стінки, проєктують з дотриманням наступних вимог:

- пояс до місця обриву має бути скошеним за товщиною до 6 мм з ухилом 1:8 і за шириною до 32 мм з ухилом 1:4 (рисунок 16.14);
- прикріплення до стінки балки на довжині скошеної частини поясу повинне мати повне проплавлення;
- необхідно передбачати механічну обробку кінця поясу для одержання плавних переходів (радіусом, не меншим ніж 60 мм) до стінки (в обох площинах).

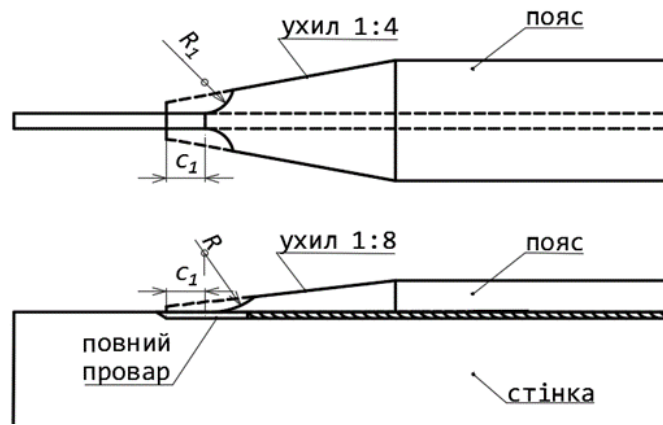


Рисунок 16.14 – Схема обриву поясу двотаврової балки

16.10 Конструкції ортотропних плит, опорних частин і деформаційних швів

16.10.1 Вимоги до проектування ортотропних плит надані в додатку М.

16.10.2 Вимоги до конструювання, розрахунків і установки опорних частин надані в додатку Р.

16.10.3 Вимоги до застосування і улаштування деформаційних швів надані в додатку П.

Додаток А

(обов'язковий)

ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАСІВ ПЕРЕРІЗІВ**А.1 Класи перерізів**

Під час розрахунків елементів конструкцій розглядають три класи перерізів:

клас 1 – пружна робота перерізу (обмежень до застосування немає);

клас 2 – робота перерізу за обмежених пластичних деформацій (є обмеження до застосування);

клас 3 – робота перерізу за необмежених пластичних деформацій (є обмеження до застосування).

Характеристики граничного стану для цих класів перерізів наведено в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Характеристики граничного стану для класів перерізів

Умовна діаграма напруження-деформація	Клас перерізу	Характеристика граничного стану
	1	пластичні деформації не допускаються
	2	допускаються лише обмежені пластичні деформації
	3	допускаються практично необмежені пластичні деформації

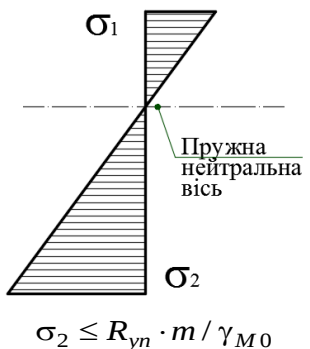
А.2 Клас 1. Пружна робота перерізу

А.2.1 Для перерізів класу 1 розрахункові напруження можна допустити лише в крайній фібрі поперечного перерізу. Для цього випадку граничний згинальний момент визначають за формулою таблиці А.2.

А.2.2 Для перерізів класу 1 напруження в жодній фібрі не можуть перевищувати розрахункового опору текучості $R_{yp} \cdot m / \gamma_{M0}$.

А.2.3 Обмежень до застосування немає. Поперечні перерізи класу 1 можуть застосовуватися для всіх розрахунків несних конструкцій мостів.

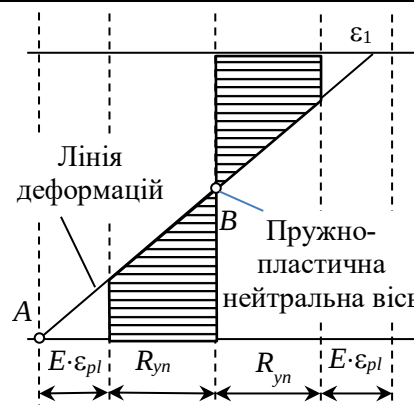
Таблиця А.2 – Характеристика пружної роботи перерізу

Характерна епюра	
	Граничний момент визначають за формулою: $M_{Rd} = W_{el} \cdot R_{yn} \cdot m / \gamma_{M0} \quad (A.1)$ W_{el} – пружний момент опору; R_{yn} – опір сталі текучості; характеристичне значення; γ_{M0} – коефіцієнт надійності (таблиця 7.3); m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).

А.3 Клас 2. Обмежені пластичні деформації

А.3.1 Робота перерізу за обмежених пластичних деформацій характеризується досягненням напружень текучості не тільки в крайніх фібрах балки, але і на певній відстані від них з одного, або з обох боків перерізу.

Таблиця А.3 – Робота перерізу за умови обмежених пластичних деформацій

Епюра напружень та лінія деформацій	
Однобічна текучість	
	Граничний момент визначають за формулою: $M_{pl,Rd} = \kappa \cdot W_{el} \cdot R_{yn} \cdot m / \gamma_{M0} \quad (A.2)$ W_{el} – пружний момент опору; R_{yn} – опір текучості (характеристичне значення); γ_{M0} – коефіцієнт надійності (таблиця 7.3); m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1). Коефіцієнт урахування обмежених пластичних деформацій $\kappa \geq 1,0$ для характерних перерізів обчислюють за наближеними формулами розділу 8.3. В інших випадках рекомендується визначати за формулою: $\kappa = \frac{M_{Rd}}{W_{el} \cdot R_{yn}} \quad (A.3)$ Пружно-пластичний момент опору визначають на базі епюри напружень (заштрихована) та лінії деформацій, яка проходить через точку А обмежених пластичних деформацій з боку максимальних деформацій і точку В, де розташована пружно-пластична нейтральна вісь. Точку В визначають з умови рівності нулю просторового об'єму епюри напружень. M_{Rd} – розрахунковий опір згину визначають як момент просторової епюри напружень відносно пружно-пластичної нейтральної осі. Обмеження щодо значення пластичних (залишкових) деформацій надані в п. В.3.2 додатку В.
Двобічна текучість	
	

А.3.2 Пластичні деформації ε_{pl} для ребер ортотропних плит мають не перевищувати значення 0,0025, для інших несних конструкцій – значення 0,0006.

А.3.3 Граничний згинальний момент за умови обмежених пластичних деформацій визначають за рекомендаціями таблиці А.3.

А.3.4 Пружно-пластична робота перерізу не допускається:

- 1) якщо можлива місцева втрата стійкості стінки;
- 2) якщо відсутня можливість з достатньою точністю оцінити геометричні характеристики або зусилля в перерізі елемента;
- 3) якщо розмах напружень, у перерізах елементів, що сприймають змінні зусилля різних знаків, перевищує $1,8 \cdot m \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}$.

А.4 Клас 3. Необмежені пластичні деформації (пластичний шарнір)

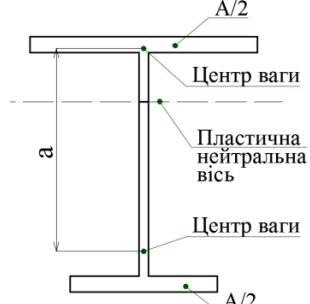
А.4.1 Роботу поперечного перерізу характеризують досягненням напружень текучості по всій висоті перерізу.

А.4.2 Граничний момент балки за умови необмежених пластичних деформацій оцінюють за формулами таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Робота перерізу за умови необмежених пластичних деформацій

Епюра напружень	Граничний момент визначають за формулою:	
	$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot R_{yn} \cdot m / \gamma_{M0}$	
	W_{pl} – пластичний момент опору за таблицею А.5 з обмеженнями за таблицею А.6. R_{yn} – опір сталі текучості (характеристичне значення); γ_{M0} – коефіцієнт надійності (таблиця 7.3); m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).	

Таблиця А.5 – Визначення пластичного моменту опору

Поперечний переріз	Пластичний момент опору визначають за формулою:
	$W_{pl} = a \cdot A / 2$ (А.5) A – площа перерізу; a – відстань між центрами ваги половинних площ. Пластична нейтральна вісь, ділить площу перерізу навпіл.

А.4.3 Необмежені пластичні деформації під час згину балки рекомендується враховувати за наступних умов:

- якщо забезпечена локальна стійкість полиць та стінок перерізу;
- якщо забезпечена достатня поворотна здатність, тобто, достатній кут повороту для утворення пластичних напружень по всій висоті перерізу.

А.4.4 Обмеження щодо врахування необмежених пластичних деформацій як граничного стану перерізів, пов'язані з локальною стійкістю елементів перерізу і залежать від величини поперечної сили.

А.4.5 Обмеження, що пов'язані з локальною стійкістю елементів перерізу, характеризують співвідношенням їхніх розмірів і наведені у таблиці А.6.

Таблиця А.6 – Обмеження співвідношення розмірів стінок та поясів для врахування необмежених пластичних деформацій

№	Розміри елементів перерізу					Обмеження		
1	Звиси поясів b_f і t_f – ширина і товщина звису поясу					$b_f / t_f \leq 10 \cdot \varepsilon$		
2	Стінки b_w і t_w – ширина і товщина стінки					$b_w / t_w \leq 72 \cdot \varepsilon$		
$\varepsilon = \sqrt{235 / R_{yn}}$	R_{yn} , МПа	235	250	300	345	390	440	
	ε	1,00	0,97	0,89	0,83	0,78	0,73	

А.4.6 У випадку одночасної дії в перерізі згинального моменту та поперечної сили, що перевищує 50 % від опору перерізу на зріз, величина пластичного моменту опору має бути зменшена залежно від величини поперечної сили відповідно до формули:

$$W_{pl,y} - \rho \cdot t_w \cdot h_w^2 / 4, \quad (A.6)$$

де $\rho = (2 \cdot \alpha - 1)^2$ – зменшувальний коефіцієнт;

$\alpha = Q_{Ed} / Q_{Rd} \geq 0,5$ – коефіцієнт;

Q_{Ed} – діюча поперечна сила;

$Q_{Rd} = m \cdot \frac{R_{yn}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \cdot h_w \cdot t_w$ – розрахунковий опір перерізу зрізу;

h_w і t_w – висота і товщина стінки.

Додаток Б

(довідковий)

МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ**Б.1 Загальна характеристика прокату і виробів****Б.1.1** Рекомендовані стандарти на прокат і вироби наведено в таблиці Б.1.**Таблиця Б.1** – Стандарти для прокату та виробів

Вироби	Технічні умови	Розміри і допуски
Товстолистовий прокат, штаба та широка штаба	ДСТУ 5521 ДСТУ 2651 ДСТУ 8541 ДСТУ 8817 ДСТУ EN 10025-1 ДСТУ EN 10025-2 ДСТУ EN 10025-3 ДСТУ EN 10025-4 ДСТУ EN 10025-5 ДСТУ EN 10025-6 [1] [2]	ДСТУ 8540 ДСТУ EN 10029 ДСТУ EN 10051 ДСТУ EN 10058
Двотаври з паралельними гранями полиць		ДСТУ EN 10034
Двотаври гарячекатані з нахилом полиць		ДСТУ EN 10024
Швелери		ДСТУ EN 10279
Кутики рівнополичні та нерівнополичні		ДСТУ EN 10056-2
Таври		ДСТУ EN 10055
Круг		ДСТУ EN 10060
Квадрат		ДСТУ EN 10059
Шестигранник		ДСТУ EN 10061
Штабобульб гарячекатаний несиметричний для суднобудування		ДСТУ EN 10067
Профілі порожнисті гарячого формування	ДСТУ EN 10210-1	ДСТУ EN 10210-2
Профілі порожнисті холодного формування	ДСТУ EN 10219-1	ДСТУ EN 10219-2
Шпильки і керамічні втулки для дугового приварення шпильок	ДСТУ ISO 13918	ДСТУ ISO 13918
Холоднокатані сталеві профілі ¹ (трапецієподібні ребра ортотропних плит)	ДСТУ EN 10162	ДСТУ EN 10162
Болтові комплекти без попереднього натягу	ДСТУ EN 15048 (Частини 1, 2)	ДСТУ EN 15048 (Частини 1, 2)
Болти високоміцні	ДСТУ EN 14399 (Частини 3, 4, 7, 8)	ДСТУ EN 14399 (Частини 3, 4, 7, 8)
Гайки високоміцні	ДСТУ EN 14399 (Частини 3, 4, 7, 8)	ДСТУ EN 14399 (Частини 3, 4, 7, 8)
Шайби	ДСТУ EN 14399 (Частини 5, 6)	ДСТУ EN 14399 (Частини 5, 6)

Б.1.2 Перелік виробів, наданий у таблиці Б.1, не є вичерпним.

¹ Холоднокатані сталеві профілі застосовуються для трапецієподібних, V та U – ребер ортотропних плит.

Б.2 Сталевий листовий, сортовий та фасонний прокат

Б.2.1 Сталевий прокат для мостових конструкцій

Б.2.1.1 Сталевий прокат (листовий, сортовий, фасонний) для основних (несних) конструкцій мостів приймають з переліку марок сталей, що наведені в таблиці Б.2, з виключеннями, встановленими в примітках до таблиці.

Таблиця Б.2 – Сталевий прокат для несних конструкцій мостів

Позначення сталевого прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент CEV	Подовженн я після розриву, %
		опір текучості, R_{yu}	тимчасовий опір, R_{un}		
ДСТУ EN 10025-2 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей.					
S235J2*	≤ 16	235	360	0,35	24
	16 – 40	225			
	41 – 63	215		0,38	23
	64 – 80	215			
	81 – 100	215			
	100 – 150	195			
S275J2*	≤ 16	275	410	0,40	21
	16 – 40	265			
	41 – 63	255		0,42	19
	64 – 80	245			
	81 – 100	235			
	100 – 150	225	400		
S355J2* S355K2*	≤ 16	355	470	0,45	20
	16 – 40	345			
	41 – 63	335		0,47	19
	64 – 80	325			
	81 – 100	315			
	100 – 150	295	450		
ДСТУ EN 10025-3 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 3. Технічні умови постачання зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей, підданих нормалізації або нормалізованому прокатуванню					
S275N* S275NL	≤ 16	275	370	0,40	24
	16 – 40	265			
	41 – 63	255			
	64 – 80	245			
	81 – 100	235			23

Продовження таблиці Б.2

Позначення сталевого прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент CEV	Подовженн я після розриву, %
		опір текучості, R_{yu}	тимчасовий опір, R_{un}		
S355N* S355NL	≤ 16	355	470	0,43	22
	16 – 40	345			
	41 – 63	335			
	64 – 80	325		0,45	21
	81 – 100	315			
S420N* S420NL	≤ 16	420	520	0,48	19
	16 – 40	400			
	41 – 63	390			
	64 – 80	370		0,50	18
	81 – 100	360			
ДСТУ EN 10025-4 – Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 4. Технічні умови постачання термомеханічно оброблених зварюваних дрібнозернистих сталей					
S275M* S275ML	≤ 16	275	370	0,34	24
	16 – 40	265		0,34	
	41 – 63	255	360	0,35	
	64 – 80	245	350	0,36	
	81 – 100	245		0,36	
S355M* S355ML	≤ 16	355	470	0,39	22
	16 – 40	345		0,39	
	41 – 63	335	450	0,40	
	64 – 80	325	440	0,45	
	81 – 100	325		0,45	
S420M* S420ML	≤ 16	420	520	0,43	19
	16 – 40	400		0,45	
	41 – 63	390	500	0,46	
	64 – 80	380	480	0,47	
	81 – 100	370	470	0,47	
ДСТУ 8817 Прокат конструкційний з нелегованої та легованої сталі для мостобудування. Технічні умови					
15XCHД	≤ 32	345	490	0,47	21
	33 – 50	335	470		19
10XCHД	≤ 15	390	530	0,49	19
	16 – 32	390	530		19
	33 – 40	390	510		19
09ГСЮЧ-2	8-50	355	490		21
09ГСЮЧ-3	8-50	390	530		19
ГОСТ 5521 Прокат сталевий для суднобудування. Технічні умови [5]					
E36	≤ 32	355	490	0,50	22
E40	≤ 15	390	510	0,50	21
ТУ У 27.1-05416923-085:2006 [2]					
06ГБД-355	8-50	355	450		
06ГБД-390		390	490		
06ГБД-440		440	540		
06ГБД-490		490	590		

Позначення сталевого прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент CEV	Подовженн я після розриву, %
		опір текучості, R_{yu}	тимчасовий опір, R_{un}		
ТУ У 27.1-05416923-085:2006 [2]					
09Г2СЮЧ-2-325	8-50	325	450		
09Г2СЮЧ-2-355		355	490		
09Г2СЮЧ-2-390		390	530		
R_{yu} – опір текучості (характеристичне значення): напруження за яких залишкові деформації становлять 0,2 % із забезпеченістю 95 %.					
R_{un} – тимчасовий опір (характеристичне значення): напруження, яке дорівнює відношенню найбільшого навантаження, що передує руйнуванню, до початкової площі зразка					
Примітка 1. Прокат, позначений *, не допускається для виготовлення головних балок (ферм) прогонових будов.					
Примітка 2. Для елементів прогонових будов (крім головних балок або ферм) прокат, позначений *, має обмежене застосування для основних несних конструкцій мосту у зв'язку з не виконанням вимоги із забезпечення ударної в'язкості за температури мінус 40 °С (див. п. Б.4.2.). Прокат, позначений *, рекомендується застосовувати для конструкцій без зварювання, для холоднокатаних поздовжніх ребер ортотропних плит, для поперечних ребер і поздовжніх ребер на стінках головних балок, для елементів в'язей.					
Примітка 3. Допускається застосовувати прокат, не охоплений переліком таблиці Б.2, у разі якщо він задовольняє вимогам, наданим у додатку Б.4.					
Примітка 4. Допускається використання атмосферостійкого прокату відповідно до ДСТУ EN 10025-5 і високоміцного прокату відповідно до ДСТУ EN 10025-6 у разі якщо в проєкті доведена доцільність застосування, і якщо він задовольняє вимогам, наданим у додатку Б.4.					
Примітка 5. Значення CEV надане для середніх значень умісту хімічних елементів. Для марок Е36 та Е40 має бути виконана умова з обмеження вуглецевого еквіваленту порохованого на вмісті тільки вуглецю та марганцю: $C + Mn/6 \leq 0,4 \%$.					

Б.2.2 Сталевий прокат допоміжних конструкцій

Б.2.2.1 Допускаються до застосування вуглецеві сталі згідно ДСТУ EN 10025-2 класів міцності S235, S275 і S355 підкласів за ударною в'язкістю JR, JO, J2, з розкисленням FF і FN (кипляча сталь не допустима). Сталі підкласів JR допускаються тільки для конструкцій, руйнування яких не призводить для потенційних людських жертв.

Б.2.2.2 Допускаються до застосування прокат з вуглецевих сталей згідно ДСТУ 8803 марок Ст3 і Ст3Г з розкисленням пс і сп, категорій 3, 4, 5 і 6. Сталі категорії 3 допускаються тільки для конструкцій, руйнування яких не призводить для потенційних людських жертв.

Б.2.2.3 Допускаються до застосування без обмежень прокат підвищеної

міцності згідно ДСТУ 8541 класів міцності С265, С285, С315, С325, С345 і С355 категорій 3 і вище, з гарантією зварюваності.

Б.2.2.4 Застосування круглих труб допускається без обмежень.

Б.2.3 Сталевий прокат порожнистих профілів

Б.2.3.1 Прокат розповсюджується на круглі, квадратні і прямокутні труби холодного формування і обробленого в гарячому стані відповідно до стандартів ДСТУ EN 10219 і ДСТУ EN 10210.

Б.2.3.2 Механічні властивості прокату мають відповідати наданим у таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Механічні властивості прокату порожнистих профілів

Позначення сталевого прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент CEV	Подовження після розриву, %
		опір текучості, R_{yn}	тимчасовий опір, R_{un}		
ДСТУ EN 10219 Профілі порожнисті зварні холодного формування, з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 1. Технічні умови постачання. Частина 2. Допуски, розміри і характеристики профілів.					
S275 NH*	≤ 16	275	370	≤ 0,4	24
S275NLH	17 – 40	265			
S275 MH*	≤ 16	275	360	≤ 0,34	24
S275MLH	17 – 40	265			
S355 NH*	≤ 16	355	470	≤ 0,43	22
S355NLH	17 – 40	345			
S355 MH*	≤ 16	355	450	≤ 0,39	22
S355MLH	17 – 40	345			
S420 MH*	≤ 16	420	500	≤ 0,43	19
S420 MLH	17 – 40	400			
S460 NH*	≤ 16	460	540	≤ 0,53	17
S460 NLH	17 – 40	440			
S460 MH*	≤ 16	460	530	≤ 0,46	17
S460 MLH	17 – 40	440			
ДСТУ EN 10210 Профілі порожнисті, кінцево оброблені в гарячому стані, з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 1. Технічні умови постачання. Частина 2. Допуски, розміри і характеристики профілів.					
S275 NH*	≤ 16	275	370	≤ 0,4	24
S275NLH	17 – 40	265			
	41 – 65	255			
S355 NH*	≤ 16	355	470	≤ 0,43** ≤ 0,45	22
S355NLH	17 – 40	345			
	41 – 65	335			
S420 NH*	≤ 16	420	520	≤ 0,50** ≤ 0,52	19
S420 NLH	17 – 40	400			
	41 – 65	390			

Позначення сталев прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент CEV	Подовження після розриву, %
		опір текучості, R_{yn}	тимчасовий опір, R_{un}		
S460 NH* S460 NLH	≤ 16	460	540	≤ 0,53** ≤ 0,55	17
	17 – 40	440			
	41 – 65	430			
Примітка 1. Прокат, позначений *, рекомендується застосовувати для основних несних конструкцій на умовах, наведених у примітках до таблиці Б.2. Примітка 2. Вуглецевий еквівалент позначений ** використовують для товщин прокату ≤ 16 мм. Примітка 3. Для сталей виготовлення N або M, значення роботи удару $KV^{20}=40$ Дж, $KV^{30}=27$ Дж. Для сталей виготовлення NL або ML значення роботи удару $KV^{50}=27$ Дж. Примітка 4. Для профілів холодного формування із співвідношенням розмірів $D/t < 15$ (круглого перерізу) і $(B+H)/2 \cdot t < 12,5$ мінімальне відносне подовження має бути зменшене вдвічі.					

Б.3 Виливки

Б.3.1 Для основних несних конструкцій мостів потрібно застосовувати виливки групи 3 відповідно до таблиці 5 ДСТУ 8781. Мають контролюватися: розміри, хімічний склад, механічні властивості, ударна в'язкість і вуглецевий еквівалент.

Б.3.2 Виливки у конструкціях мостів використовують для елементів опорних частин, анкерів, з'єднань прокатних елементів тощо. Прокатні елементи можна приварювати до виливок за умови розроблення спеціальної технології зварювання з наданням температурних режимів підігріву перед і після зварювання.

Б.3.3 У разі відсутності потрібних даних про характеристику виливки, у проєктній документації має бути надане креслення виливки з бажаними механічними властивостями (також щодо зварювання), без надання інформації про конкретну марку сталі.

Б.3.4 Попередню оцінку хімічного складу і механічних властивостей виливок допускається виконувати на основі стандартів ДСТУ EN 10213-1 та ДСТУ EN 10213.

Б.4 Критерії оцінювання прокату для використання в основних несних конструкціях мостів

Б.4.1 Вимоги до суцільності і поверхні прокату

Якість прокату за суцільністю має відповідати класам S2 або S3 для

поверхні прокату і *E3* або *E4* – для бічних зон, відповідно до ДСТУ EN 10163-2.

Якість поверхні листового і сортового прокату має відповідати класу А підкласу 1 або 2, згідно з ДСТУ EN 10163-2. Якість поверхні профілів має відповідати класу D підкласу 1 або 2, згідно з ДСТУ EN 10163-3. Допуски на відхил товщини прокату мають відповідати класу А, а за площинністю класам ПО (особливо висока), або ПВ (високої), відповідно до ДСТУ 8540.

Б.4.2 Мінімальне значення роботи удару

Мінімальне значення роботи удару має становити:

- для основних несних конструкцій $KV^{40} = 27$ Дж;
- для допоміжних конструкцій $KV^{20} = 27$ Дж.

У разі, якщо нормоване в стандартах значення надано меншим, сталь допускається використовувати на основі значень ударної в'язкості, наданих у заводських сертифікатах.

Б.4.3 Максимальне значення вуглецевого еквіваленту

Б.4.3.1 Для елементів без зварювання значення вуглецевого еквіваленту не нормується.

Б.4.3.2 Значення вуглецевого еквіваленту визначають за формулою:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (Б.1)$$

де С, Мп, Сг, Мо, V, Ni, Cu – масові частки вуглецю, марганцю, хрому, молібдену, ванадію, нікелю і міді.

Б.4.3.3 Для сталей із значним умістом кремнію Si для розрахунку вуглецевого еквіваленту рекомендується використовувати формулу згідно з ДСТУ 8541:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \quad (Б.2)$$

де С, Мп, Si, Сг, Ni, Cu, V, P – масові частки вуглецю, марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, ванадію і фосфору.

Б.4.3.4 Значення CEV не має перевищувати значення, наведені у стандартах або визначені за середнім умістом хімічних складових, наведені у стандартах.

Б.4.3.5 У разі, якщо значення CEV, отримані за сертифікатами виробника,

перевищують допустимі значення, застосування прокату можливе тільки за умови розроблення спеціальної технології зварювання.

Б.4.3.6 У разі, якщо значення CEV перевищує 0,5, прокат допускається застосовувати тільки за умови розроблення спеціальної специфікації на основі зварювання і випробування зразків.

Б.4.4 Мінімальні значення пластичності

Б.4.4.1 Пластичність матеріалу оцінюють відношенням мінімального тимчасового опору до характеристичного значення опору текучості R_{un}/R_{yn} і відносним подовженням перед розривом.

Б.4.4.2 Відношення R_{un}/R_{yn} не повинні бути меншими від значень, наданих у таблиці Б.4.

Таблиця Б.4 – Найменші значення відношень R_{un}/R_{yn}

Група	Сталевий прокат	Найменше значення R_{un}/R_{yn}
1	Конструкційні сталі	1,3
2	Конструкційні нормалізовані сталі з дрібним зерном	1,2
3	Конструкційні термооброблені сталі з дрібним зерном	1,2
4	Атмосферостійкі сталі	1,3
5	Сталі з високою границею текучості	1,1

Б.4.4.3 Мінімальне подовження після розриву циліндричного або плоского зразка діаметром або товщиною не менше ніж 3 мм з початковою розрахунковою довжиною не меншою за $l_i = 5,65\sqrt{A_0}$ (A_0 – площа поперечного перерізу зразка) для прокату товщиною до 100 мм надані у таблиці Б.5.

Таблиця Б.5 – Значення мінімальних подовжень після розриву

Група	Сталевий прокат	Мінімальне подовження після розриву, %					
		Класи міцності					
		C235	C275	C355	C420	C460	> C460
1	Конструкційні сталі	24	20	20	–	–	–
2	Конструкційні нормалізовані сталі з дрібним зерном	–	23	21	18	17	–
3	Конструкційні термооброблені сталі з дрібним зерном	–	24	22	19	17	–
4	Атмосферостійкі сталі	24	–	20	–	–	–
5	Сталі з високою границею текучості	–	–	–	–	–	15

Б.5 Матеріали для зварювання

Цей додаток надає інформацію, необхідну для визначення перерізів швів

зварювання, а саме:

- розрахункові опори;
- характеристичні значення опорів текучості і тимчасових опорів;
- робота удару.

Для кожної партії зварювальних матеріалів потрібно виготовляти і випробувати зразки (див. додаток Н). У результаті випробування мають бути отримані дані стосовно механічних властивостей і ударної в'язкості наплавленого металу.

Б.5.1 Стандарти на зварювання

Стандарти на зварювання надані в розділі 2.

Б.5.2 Розрахункові опори зварних з'єднань

Опір зварних з'єднань визначають за формулами таблиці Б.6.

Таблиця Б.6 – Розрахункові опори зварних з'єднань

Зварні з'єднання	Напружений стан		Розрахункові опори зварних з'єднань
Стикові	Стиск-розтяг, зріз і згин (приймають як для основного металу)	за границею текучості	$R_{w,n} = R_{yn} / \gamma_{M0}$
		за тимчасовим опором	$R_{w,u} = R_{un} / \gamma_{M0}$
		зріз	$R_{w,s} = 0,58 \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}$
Кутові шви	Зріз (умовний) по металу шва		$R_{w,f} = 0,55 \cdot R_{w,un} / \gamma_{M2}$
	Зріз (умовний) по металу границі сплавлення		$R_{w,z} = 0,45 \cdot R_{un}$
$R_{w,un}$ – тимчасовий опір розриву металу шва, приймають за сертифікатами виробника зварювальних матеріалів (для поширених матеріалів наведено у таблицях Б.7 – Б.12). $\gamma_{M0} = 1,0$ – коефіцієнт надійності для стикових швів приймають як для основного металу; $\gamma_{M2} = 1,25$ – коефіцієнт надійності для зварного з'єднання.			

Б.5.3 Класифікація електродів і дрітів

Відповідно до діючих стандартів, зварювальні матеріали, характеристики яких надані нижче, класифіковані за опором текучості і роботою удару 47 Дж.

За характеристичне значення опору текучості металу шва зварювання $R_{w,yn}$, приймають напруження, за якого залишкові деформації складають 0,2 % із забезпеченістю 95 %.

Всі матеріали для зварювання основних несних конструкцій мостів повинні мати (безпосередньо після зварювання, або після термообробки) роботу удару, яка забезпечує $KV^{40} = 27$ Дж, як по металу шва, так і в зоні сплавлення з

Б.5.4 Механічні характеристики наплавленого металу

Значення опору текучості, тимчасового опору і енергія удару для наплавленого металу має бути більше ніж для основного металу.

Пластичні характеристики наплавленого металу мають бути не гірше ніж у основного металу. Контролюють: відносне подовження перед розривом і відношення тимчасового опору до опору текучості.

Твердість металу швів обмежена 350 одиницями за шкалою Віккерса (HV). Для кутових швів з катетом 5 – 7 мм твердість допускається 400 одиниць.

Б.5.4.1 Покриті електроди

Для електродів, класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж механічні характеристики металу шва наплавленого покритими електродами надані в таблиці Б.7, а для ручного дугового зварювання високоміцних сталей у таблиці Б.8.

Таблиця Б.7 – Механічні характеристики металу шва, наплавленого покритими електродами

Електроди класифіковані за опором текучості згідно з ДСТУ EN ISO 2560	Характеристичні значення наплавленого металу шва, МПа		Мінімальне значення	
	опору текучості, $R_{w,yn}$	тимчасового опору, $R_{w,un}$	подовження після розриву, %	відношення $R_{w,un}/R_{w,yn}$
E35	355	440	22	1,25
E38	380	470	20	1,25
E42	420	500	20	1,20
E46	460	530	20	1,15
E50	500	560	18	1,10

Таблиця Б.8 – Механічні характеристики металу шва для ручного дугового зварювання високоміцних сталей

Електроди класифіковані за опором текучості згідно з ДСТУ EN ISO 18275	Характеристичні значення наплавленого металу шва, МПа		Мінімальне значення	
	опору текучості, $R_{w,yn}$	тимчасового опору, $R_{w,un}$	подовження після розриву, %	відношення $R_{w,un} / R_{w,yn}$
E55	550	610	18	1,1
E62	620	690	18	1,1
E69	690	760	17	1,1
E79	790	880	16	1,1
E89	890	980	15	1,1

Б.5.4.2 Дріт порошковий для дугового зварювання у захисному газі та без нього

Для зварювальних Т (трубчастих) дротів, класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж, механічні характеристики металу шва надані в таблиці Б.9.

Таблиця Б.9 – Механічні характеристики металу шва зварювальних Т (трубчастих) дротів, класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж

Дроти класифіковані за опором текучості згідно з ДСТУ EN ISO 17632	Характеристичні значення наплавленого металу шва, МПа		Мінімальне значення	
	опору текучості, $R_{w,yn}$	тимчасового опору, $R_{w,un}$	подовження після розриву, %	відношення $R_{w,un} / R_{w,yn}$
T35	355	440	22	1,25
T38	380	470	20	1,25
T42	420	500	20	1,20
T46	460	530	20	1,15
T50	500	560	18	1,10

Б.5.4.3 Дріт суцільний для дугового зварювання в захисному газі

Для зварювальних G (суцільних) дротів, класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж, механічні характеристики металу шва надані в таблиці Таблиця Б.10.

Таблиця Б.10 – Механічні характеристики наплавленого металу шва зварювальних G (суцільних) дротів, виконаних у захисному газі, класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж

Дроти класифіковані за опором текучості згідно з ДСТУ EN ISO 14341	Характеристичні значення наплавленого металу шва, МПа		Мінімальні значення	
	опору текучості, $R_{w,yn}$	тимчасового опору, $R_{w,un}$	подовження після розриву, %	Відношення $R_{w,un} / R_{w,yn}$
G35	355	440	22	1,25
G38	380	470	20	1,25
G42	420	500	20	1,20
G46	460	530	20	1,15
G50	500	560	18	1,10

Для зварювальних дротів: S (суцільних) і T (трубчастих), класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж, механічні характеристики металу шва надані в таблиці Б.11.

Таблиця Б.11 – Механічні характеристики металу шва для зварювальних дротів: *S* (суцільних) і *T* (трубчастих), класифікованих за опором текучості і енергією удару 47 Дж

Дроти класифіковані за опором текучості згідно з ДСТУ EN ISO 14171	Характеристичні значення наплавленого металу шва, МПа		Мінімальне значення	
	опору текучості, $R_{w,yn}$	тимчасового опору, $R_{w,un}$	подовження після розриву, %	відношення $R_{w,un} / R_{w,yn}$
S55; T35	355	440	22	1,25
S38; T38	380	470	20	1,25
S42; T42	420	500	20	1,20
S46; T46	460	530	20	1,15
S50; T50	500	560	18	1,10

Б.5.4.4 Дроти для зварювання під флюсом

Таблиця Б.12 – Механічні характеристики металу шва для дугового зварювання під флюсом високоміцних сталей

Дроти класифіковані за опором текучості згідно з ДСТУ EN ISO 26304	Характеристичні значення наплавленого металу шва, МПа		Мінімальне значення	
	опору текучості, $R_{w,yn}$	тимчасового опору, $R_{w,un}$	подовження після розриву, %	відношення $R_{w,un} / R_{w,yn}$
S55; T55	550	640	18	1,15
S62; T62	620	700	18	1,15
S69; T69	690	770	17	1,10
S79; T79	790	880	16	1,10
S89; T89	890	940	15	1,05

Б.6 Кріпильні вироби

Механічні властивості і розрахунки кріпильних з'єднань надані в додатку К.

Додаток В
(довідковий)

РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ ПЛИТ

В.1 Ефективні геометричні характеристики перерізів

В.1.1 Під час згину балок, верхні та нижні широкі пояси (ортотропні плити) мосту включаються в роботу разом зі стінками за рахунок передачі зрізних зусиль зі стінок на плити. Тому нормальні напруження в плиті біля стінок, як правило, більші ніж на периферії.

В.1.2 Нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині плити, за рахунок ефекту запізнення дотичних напружень, враховують введенням *ефективних* (зменшених) геометричних характеристик перерізу замість фактичних.

В.1.3 Ефективну ширину плит слід використовувати не лише під час розрахунків перерізів на міцність, але й під час *визначення геометричних характеристик* елементів для розрахункових схем, які застосовують у розрахунках з визначення зусиль і деформацій.

В.1.4 У місцях різкої зміни поперечного перерізу або наявності великих вирізів недостатньо підраховувати геометричні характеристики відповідно до зміни площі елементів поперечного перерізу, а слід також враховувати нерівномірність розподілу напружень. Нерівномірність має бути врахована як від дії згину так і від дії зосереджених сил. *Ефективні* геометричні характеристики від дії зосередженої сили і дії згинальних моментів будуть різними і їх слід розраховувати окремо.

В.2 Коефіцієнти редукції, отримані на основі формул

В.2.1 Ефективну ширину плити визначають за формулою:

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0, \quad (B.1)$$

де b_0 – фактична ширина плити;

β – коефіцієнт редукції;

b_{eff} – ефективна ширина плити (див. рисунок В.1).

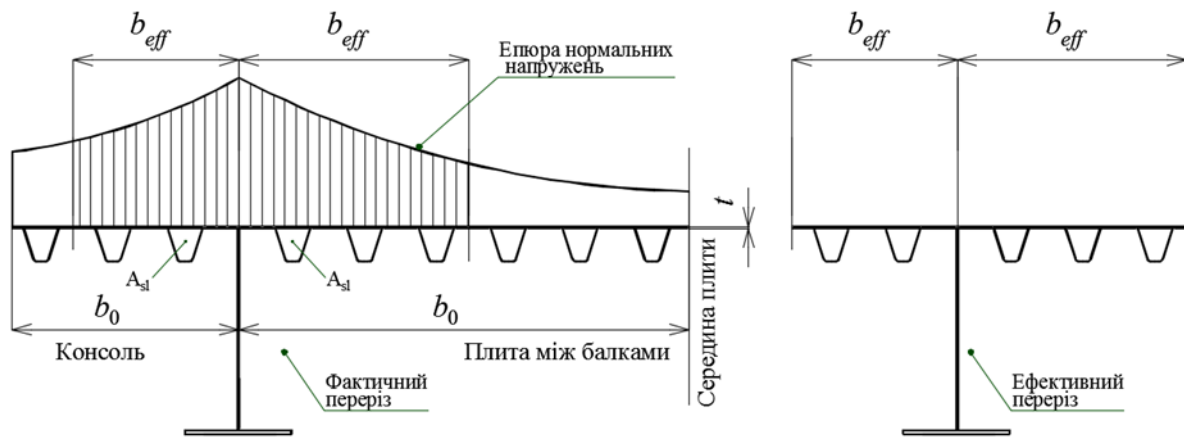


Рисунок В.1 – Фактичний і ефективний перерізи

В.2.2 Коефіцієнт редукції β можна оцінити за формулами таблиці В.1 та параметром:

$$\kappa = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e, \quad (\text{В.2})$$

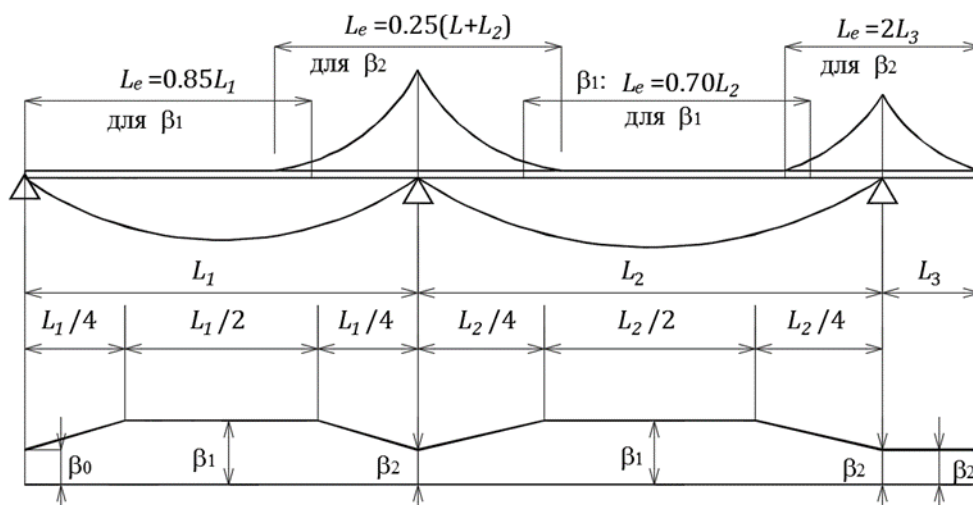
$$\alpha_0 = \sqrt{1 + A_{st} / (b_0 \cdot t)}, \quad (\text{В.3})$$

де A_{st} – площа поздовжніх ребер плити на ділянці завширшки b_0 ;

t – товщина листа настилу.

Позначення надані на рисунку В.1.

L_e – ефективна довжина прогону, яку визначають, керуючись схемою, на рисунку В.2, за умови, що нема прогонів довшої за 1,5 довжини суміжного прогону, а консоль не довша половини суміжного прогону. В інших випадках довжину прогону визначають між нульовими точками епюри моментів.

Рисунок В.2 – Схема для визначення ефективної довжини прогону L_e

В.2.3 Значення коефіцієнтів редукції β , залежно від коефіцієнта κ і форми

ділянки епюри моментів по довжині балки, визначають за формулами таблиці В.1

Таблиця В.1 – Значення коефіцієнтів редукції β

$\kappa = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e$	Ділянка, що розглядається	Значення коефіцієнта β
$\leq 0,02$	–	$\beta = 1,0$
0,02 – 0,70	Опукла епюра	$\beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6,4 \cdot \kappa^2)$
	Увігнута епюра	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \cdot (\kappa - 0,0004 \cdot \kappa) + 1,6 \cdot \kappa^2}$
$> 0,70$	Опукла епюра	$\beta = \beta_1 = 1 / (5,9 \cdot \kappa)$
	Увігнута епюра	$\beta = \beta_2 = 1 / (8,6 \cdot \kappa)$
Всі значення κ	Кінцеве обпирання	$\beta = \beta_0 = (0,55 + 0,025 / \kappa) \cdot \beta_1$, але $\beta_0 < \beta_1$
Всі значення κ	Консоль	$\beta = \beta_2$ в обпиранні $\beta_0 = 1,0$ на кінці

В.2.4 Для кількісного оцінювання характеру розподілу напружень по ширині плити можна скористатися формулами, що наведені в таблиці В.2.

Таблиця В.2 – Кількісна оцінка нерівномірності розподілу напружень

$\beta > 0,2$	$\beta < 0,2$
$\sigma_2 = 1,25 \cdot (\beta - 0,2) \cdot \sigma_1$	$\sigma_2 < 0,2$
$\sigma_{(y)} = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot \left(1 - \frac{y}{b_0}\right)^4$	$\sigma_{(y)} = \sigma_1 \cdot \left(1 - \frac{y}{b_1}\right)^4$

В.2.5 Наведена методика оцінки нерівномірності розподілу нормальних напружень по ширині поясів балки жорсткості передбачає пружну роботу плит.

В.3 Коефіцієнти редукції, отримані на базі просторових розрахунків

В.3.1 Ефективну ширину плити b_{ef} під час розрахунків у пружно-

пластичній стадії знаходять за формулою:

$$b_{eff} = \sum \beta_i \cdot b_i, \quad (B.4)$$

де β_i – коефіцієнт редукції i -того відрізка;

b_i – ширина i -того відрізка.

В.3.2 У розрахунках з обмеженою пластичною деформацією $\varepsilon_{pl} = 0,0006$ для сталі класу міцності С390, коефіцієнт редукції (зменшення) β_i залежно від відношення $\sigma_{min}^* / \sigma_{max}^*$ знаходять за таблицею В.3.

Таблиця В.3 – Знаходження коефіцієнта редукції в розрахунках з обмеженою пластичною деформацією

$\sigma_{min}^* / \sigma_{max}^*$	1,0	0,7	0,5	0,33	0,25	0,20	0,10	0
β	1	1	0,85	0,72	0,65	0,60	0,52	0,43

σ_{min}^* і σ_{max}^* – найменше і найбільше нормальне напруження по краях i -того відрізка плити шириною b_i , знайдені розрахунком просторової схеми в пружній стадії.

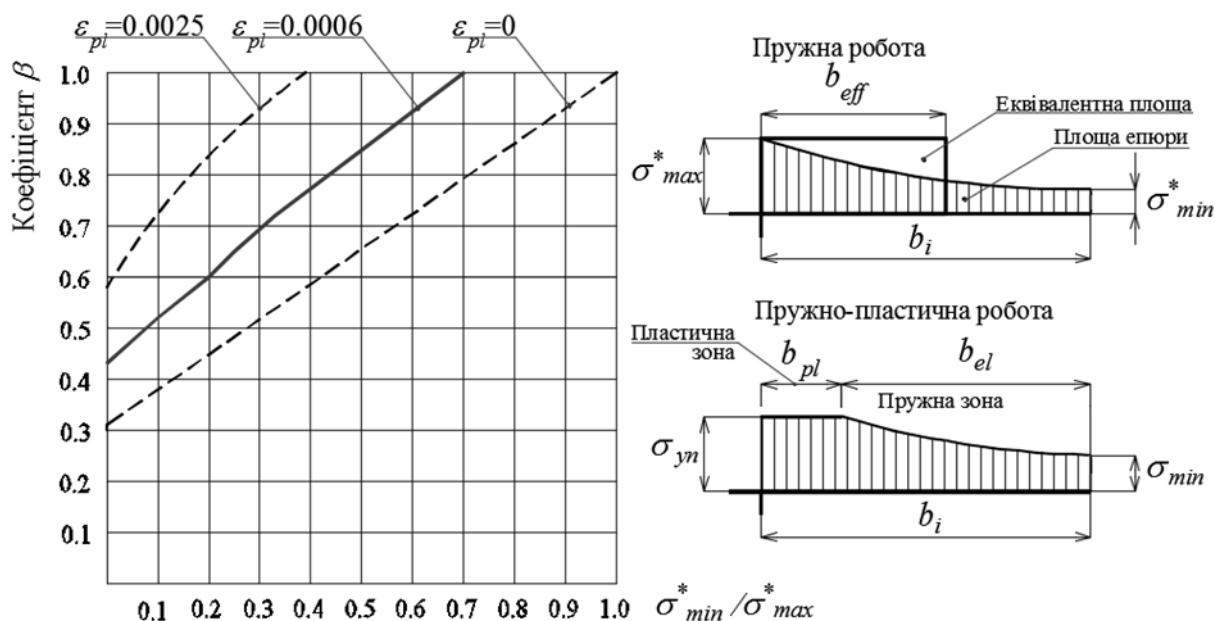


Рисунок В.3 – Коефіцієнти редукції для випадку пружно-пластичної роботи перерізу із сталі класу С390

В.3.3 Для інших умов коефіцієнт редукції β для заданої величини пластичних деформацій ε_{pl} залежно від класу міцності сталі σ_{yn} , мінімальних і максимальних напружень на ділянці полиці шириною b розраховують за формулами:

$$\beta = \omega \cdot c_{pl} ; \quad (B.5)$$

$$\omega = \frac{1}{3} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot \sigma_{\min}^*}{\sigma_{\max}^*} \right); \quad (B.6)$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{\sigma_{yn} - \sigma_{\min}}{\sigma_{yn} - \sigma_{\min} + \varepsilon_{pl} \cdot E}}; \quad (B.7)$$

$$c_{pl} = \frac{1 - \kappa \cdot \frac{2}{3} \left(1 - \frac{\varepsilon_{\min}}{\varepsilon_{yn}} \right)}{\omega}, \quad (B.8)$$

де $\alpha = \frac{\sigma_{\min}^*}{\sigma_{\max}^*}$ – коефіцієнт; $\sigma_{\min} = \frac{\sigma_{yn} + \sigma_{yn} / E}{\alpha} \leq \sigma_{yn}$ – мінімальне напруження,

отримане в пружно-пластичній епюрі (див. рисунок В.3);

σ_{yn} – напруження опору текучості; характеристичне значення;

E – модуль пружності;

ε_{yn} – деформація за напруження σ_{yn} , яку визначають за формулою $\varepsilon_{yn} = \sigma_{yn} / E$;

ε_{pl} – пластична деформація; для розрахунків головних несних конструкцій приймають рівною $\varepsilon_{pl} = 0,0006$; для ребер ортотропних плит і елементів підданих локальним навантаженням – $\varepsilon_{pl} = 0,0025$;

c_{pl} – коефіцієнт умовного зміцнення, за рахунок появи обмежених пластичних деформацій.

В.3.4 Для пружних розрахунків, ефективну ширину полиць b_{ef} визначають як ширину сторони прямокутника з площею, рівною площі епюри нормальних напружень A_{σ} за формулою:

$$b_{eff} = A_{\sigma} / \sigma_{\max}^*. \quad (B.9)$$

Додаток Г
(довідковий)
КРУЧЕННЯ

Г.1 Вільне кручення

Формули для розрахунків дотичних напружень у стрижнях різних перерізів у випадку вільного кручення (Сен-Венана) надані в таблиці Г.1.

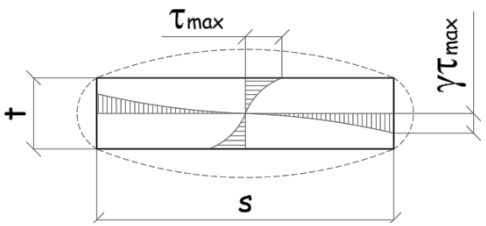
Таблиця Г.1 – Формули для розрахунків дотичних напружень

Тип перерізу	Моменту інерції, I_t	Моменту опору, W_t	Дотичні напруження, τ
Замкнений тонкостінний	$I_t = 4 \cdot A^2 \cdot \sum_i \frac{s_i \cdot t_i^3}{3}$	$W_t = 2 \cdot A \cdot t_i$	$\tau = M_t / W_t$
Відкритий тонкостінний	$I_t = \delta \cdot \sum_i \frac{s_i \cdot t_i^3}{3}$	$W_t = I_t / t_i$	
Суцільний прямокутний розмірами s на t	$I_t = \beta \cdot s \cdot t^3$	$W_t = \alpha \cdot s \cdot t^2$	
Суцільний круглий діаметром d	$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$	$W_p = I_p / (d / 2)$	
Труба діаметром d і внутрішнім діаметром d_1	$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^4 \right]$		
Коефіцієнт δ в таблиці Г.1 знаходять за таблицею Г.2. Коефіцієнт α і β в таблиці Г.1 знаходять за таблицею Г.3.			

Таблиця Г.2 – Значення коефіцієнтів δ для перерізів різних типів

Значення коефіцієнтів δ для перерізів різних типів для формули $I_t = \delta \cdot s \cdot t^3 / 3$				
Кутик	Двотавр несиметричний	Двотавр симетричний	Швелер	Тавр
1,0	1,15–1,25	1,15–1,3	1,1–1,15	1,15–1,2

Таблиця Г.3 – Значення коефіцієнтів α , β , γ

					Коефіцієнт α для формули $W_t = \alpha \cdot s \cdot t^2$ Коефіцієнт β для формули $I_t = \beta \cdot s \cdot t^3$ Коефіцієнт γ для формули $\tau = \gamma \cdot \tau_{\max}$ для відношення більшої сторони до меншої сторони прямокутника (s до t)			
s/t	1	1,5	2	3	4	5	8	10
α	0,208	0,231	0,246	0,264	0,282	0,291	0,307	0,333
β	0,141	0,196	0,229	0,263	0,281	0,291	0,307	0,333
γ	1,0	0,86	0,79	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74

Де I_t і W_t – момент інерції і момент опору перерізу для вільного кручення;

A – площа, що обмежена середньою лінією замкнутого контуру тонкостінного перерізу;

s_i і t_i – довжина і товщина i -тої ділянки контуру;

s – довжина середньої лінії тонкостінного перерізу постійної товщини, або більший розмір перерізу прямокутного бруса;

t – товщина стінки тонкостінного перерізу, або менший розмір перерізу прямокутного бруса;

I_p , I_x , I_y та r – моменти інерції полярний, відносно осі x , відносно осі y і радіус круглого перерізу;

M_t – момент вільного кручення.

Г.2 Стиснене кручення

У випадку стисненого кручення, напруження слід знаходити для відкритих перерізів. Для розрахунків напружень у перерізі слід знайти момент для стисненого кручення M_ω і бімомент B_ω . Їхні значення залежать від статичної схеми стрижня, від типу і положення навантаження, від положення перерізу і від відношення жорсткості вільного і стисненого кручення $k = \sqrt{G \cdot I_t / (E \cdot I_\omega)}$.

Нормальні напруження визначають за формулою:

$$\sigma_\omega = \frac{B_\omega \cdot \omega}{I_\omega} = \frac{B_\omega}{W_\omega}. \quad (\text{Г.1})$$

У перерізах стрижня, крім нормальних виникають і дотичні напруження, що визначають за формулою:

$$\tau_\omega = \frac{M_\omega \cdot S_\omega}{I_\omega \cdot t}, \quad (\text{Г.2})$$

де G і E – модуль зсуву і модуль пружності;

B_ω – бімомент;

ω – секторіальна площа (координата);

I_ω – секторіальний момент інерції;

$W_\omega = I_\omega / \omega$ – секторіальний момент опору;

M_ω – момент стисненого кручення;

S_ω – секторіальний статичний момент;

t – товщина стінки профілю.

Додаток Д
(обов'язковий)

РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ СТРИЖНІВ І СПОРУД У ЦІЛОМУ

Д.1 Основні положення

Плоска форма втрати стійкості пов'язана зі згином елемента у площині найменшої жорсткості. Розрахунки стійкості виконують для центрального стиснення і позацентрового стиснення в площині найменшої жорсткості.

Крутильна форма втрати стійкості пов'язана з деформаціями у вигляді закручування стрижня навколо поздовжньої осі.

Згинально-крутильна форма втрати стійкості пов'язана зі згином і скручуванням елемента. Критична сила згинально-крутильної форми, як правило, менша за крутильну критичну силу і менша за критичні сили відносно окремих осей. Розрахунки стійкості виконують для центрального і позацентрового стиснення в одній або в двох площинах, а також для згину. Для стиснуто-зігнутих елементів застосовують термін згинально-крутильна (*torsional-flexural*) форма втрати стійкості, для зігнутих елементів поперечно-крутильна (*lateral-torsional*) форма втрати стійкості.

Втрата стійкості вільних поясів балок або ферм пов'язана зі згином стиснутих поясів у площині.

Втрата стійкості арок пов'язана зі згином арок у площині. Поперечну стійкість оцінюють аналогічно розрахунку вільних поясів. Уточнені розрахунки виконують за згинально-крутильними формами.

Втрата стійкості пластинок, стиснутих у напрямку поздовжніх елементів. Перевірку виконують для пластинок, що закріплені по одній і по двох кромках.

Втрату стійкості відсіків стінок головних балок перевіряють на дію нормальних напружень відносно двох осей і зрізних напружень.

Втрата стійкості ортотропних плит пов'язана із втратою стійкості плити з поздовжніми ребрами між поперечними балками.

Крім розрахунків окремих елементів споруди для окремих, наприклад аркових мостів, виконують уточнені розрахунки споруди в цілому. Ці

розрахунки виконують для просторової розрахункової схеми споруди з метою визначення форми втрати стійкості і коефіцієнта запасу.

Гнучкість – є базовим параметром для розрахунків стійкості, який дозволяє знайти зменшувальний коефіцієнт опору стрижня, плитних елементів і споруди в цілому.

Критична сила, критичний згинальний момент або крутильний момент – найменші сила стиску, згинальний або крутильний момент за яких настає втрата стійкості стрижня.

Стійкість першого роду пов'язують з появою нових форм рівноваги. Втрата стійкості характеризує навантаження, яке викликає перехід з одної форми на іншу. Це навантаження називають критичним. Розрахунки стійкості першого роду виконують в припущенні лінійної залежності між навантаженнями і деформаціями за умови пружної роботи матеріалу.

Стійкість другого роду визначають зростанням деформацій у площині згину. Розрахунки виконують з урахуванням поточних деформацій і контролем напружень у найбільш навантаженому перерізі. Втрату стійкості характеризують станом, за якого починається різке зростання деформацій і при цьому контролюються напруження в найбільш навантаженій фібрі. Навантаження, що викликає такий стан, називають критичним. Розрахунки стійкості другого роду виконують в припущенні нелінійної залежності між навантаженнями і деформаціями за пружної роботи матеріалу.

Нижче наведені позначення, використані в таблицях Д.1, Д.2 і Д.3:

λ – гнучкість;

λ_x, λ_y – гнучкості відносно осей;

λ_{ef} – приведена гнучкість;

$\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ – коефіцієнти поздовжнього згину.

Д.2 Коефіцієнти позовжнього згину у розрахунках стійкості стрижнів і балок

Таблиця Д.1 – Коефіцієнти позовжнього згину для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності до С250

Гнучкість λ, λ_x λ_y, λ_{ef}	Коефіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності до С250 Для приведенного відносного ексцентриситету e_{ef}													
	0	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00	
0	0,93	0,85	0,79	0,68	0,60(0,58)	0,52(0,50)	0,43(0,41)	0,35	0,30	0,27	0,24	0,21	0,17	
10	0,92	0,84	0,78	0,68(0,67)	0,60(0,57)	0,52(0,50)	0,42(0,40)	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,17	
20	0,90	0,83	0,77(0,76)	0,67(0,66)	0,58(0,56)	0,50(0,49)	0,41(0,40)	0,34	0,29	0,26	0,23	0,21	0,17	
30	0,88	0,81	0,76(0,73)	0,65(0,63)	0,56(0,54)	0,49(0,47)	0,40(0,39)	0,33	0,29	0,25	0,22	0,21	0,17	
40	0,85	0,79(0,77)	0,73(0,70)	0,63(0,61)	0,54(0,52)	0,47(0,45)	0,39(0,38)	0,32	0,28	0,24	0,22	0,20	0,17	
50	0,82(0,80)	0,76(0,73)	0,70(0,65)	0,60(0,57)	0,51(0,49)	0,45(0,43)	0,37(0,36)	0,31	0,27	0,24	0,22	0,20	0,16	
60	0,78(0,73)	0,72(0,66)	0,66(0,60)	0,57(0,53)	0,49(0,46)	0,43(0,41)	0,35(0,34)	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16	
70	0,74(0,66)	0,67(0,60)	0,62(0,54)	0,54(0,48)	0,46(0,42)	0,41(0,38)	0,34(0,32)	0,29	0,25	0,22	0,20	0,19	0,16	
80	0,69(0,60)	0,62(0,54)	0,57(0,49)	0,50(0,43)	0,43(0,39)	0,38(0,36)	0,32(0,31)	0,28	0,24	0,22	0,20	0,19	0,15	
90	0,63(0,54)	0,56(0,49)	0,51(0,44)	0,45(0,40)	0,40(0,36)	0,36(0,33)	0,30(0,28)	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18	0,15	
100	0,56(0,49)	0,49(0,44)	0,45(0,40)	0,41(0,37)	0,37(0,33)	0,33(0,30)	0,29(0,26)	0,25	0,22	0,20	0,19	0,17	0,14	
110	0,49(0,44)	0,43(0,40)	0,41(0,37)	0,37(0,34)	0,34(0,31)	0,31(0,29)	0,27(0,25)	0,24	0,21	0,19	0,18	0,17	0,14	
120	0,43(0,41)	0,39(0,37)	0,37(0,34)	0,34(0,31)	0,31(0,28)	0,29(0,27)	0,25(0,23)	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,13	
130	0,38(0,37)	0,35(0,34)	0,33(0,31)	0,31(0,29)	0,29(0,27)	0,26(0,25)	0,23(0,22)	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13	
140	0,34	0,31	0,30(0,29)	0,28(0,27)	0,26(0,25)	0,24(0,23)	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	
150	0,31	0,28	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	
160	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11	
170	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	
180	0,23	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	
190	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	
200	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	

Примітка. Значення коефіцієнтів $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ в дужках стосуються прокатних двотаврів з паралельними гранями полиць та зварних елементів двотаврового та Н-подібного перерізів, для розрахунку стійкості в площині полиць, якщо рівень залишкових напружень стиску в полицях більше ніж 50 МПа.

Примітка. Значення коефіцієнтів $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ в дужках стосуються прокатних двотаврів з паралельними гранями полиць та зварних елементів двотаврового та Н-подібного перерізів, для розрахунку стійкості в площині полиць, якщо рівень залишкових напружень стиску в полицях більше ніж 50 МПа.

Таблиця Д.2 – Коефіцієнти поздовжнього згину для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності від С250 до С345

Гнучкість λ_y, λ_x λ_y, λ_{ef}		Коефіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності від С250 до С345 для приведенного відносного ексцентриситету e_{ef}												
		0	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00
0		0,93	0,86	0,78	0,69	0,62	0,54	0,44	0,34	0,28	0,24	0,22	0,20	0,17
10		0,92	0,84	0,77	0,68	0,60	0,52	0,43	0,34	0,28	0,24	0,22	0,20	0,17
20		0,90	0,83	0,76	0,66	0,58	0,51	0,41	0,33	0,28	0,24	0,22	0,20	0,17
30		0,88	0,81	0,73	0,63	0,56(0,55)	0,49(0,48)	0,40(0,39)	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,16
40		0,85(0,84)	0,77(0,76)	0,69(0,68)	0,59(0,58)	0,52(0,51)	0,46(0,45)	0,38(0,37)	0,31	0,26	0,23	0,21	0,19	0,16
50		0,80(0,78)	0,72(0,70)	0,64(0,62)	0,54(0,52)	0,48(0,46)	0,43(0,42)	0,36(0,35)	0,30	0,25	0,22	0,21	0,19	0,16
60		0,74(0,71)	0,66(0,63)	0,58(0,56)	0,48(0,46)	0,43(0,41)	0,39(0,38)	0,33(0,32)	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15
70		0,67(0,63)	0,58(0,55)	0,51(0,49)	0,43(0,41)	0,39(0,37)	0,35(0,34)	0,30(0,29)	0,27	0,23	0,21	0,20	0,18	0,15
80		0,58(0,53)	0,50(0,46)	0,45(0,42)	0,38(0,35)	0,35(0,33)	0,32(0,31)	0,27(0,26)	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,14
90		0,48(0,43)	0,43(0,39)	0,40(0,37)	0,34(0,31)	0,31(0,29)	0,29(0,28)	0,25(0,24)	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,14
100		0,40(0,36)	0,38(0,34)	0,35(0,32)	0,30(0,27)	0,28(0,26)	0,26(0,25)	0,23(0,22)	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,13
110		0,35(0,32)	0,33(0,30)	0,31(0,29)	0,27(0,25)	0,25(0,24)	0,23(0,22)	0,21(0,20)	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,13
120		0,30(0,28)	0,29(0,27)	0,27(0,26)	0,24(0,23)	0,23(0,22)	0,22(0,21)	0,19(0,18)	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,12
130		0,27(0,25)	0,25(0,24)	0,24(0,23)	0,22(0,21)	0,21(0,20)	0,19(0,18)	0,18(0,17)	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
140		0,24(0,23)	0,23(0,22)	0,22(0,21)	0,20(0,19)	0,19(0,18)	0,18(0,17)	0,17(0,16)	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,11
150		0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,17	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10
160		0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10
170		0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09
180		0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09
190		0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08
200		0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08

Таблиця Д.3 – Коефіцієнти поздовжнього згину для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності більшого ніж С345

Гнуч- кість λ, λ_x λ_y, λ_{ef}	Коефіцієнти $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності більше С345 для приведенного відносного ексцентриситету e_{ef}													
	0	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00	
0	0,93	0,86	0,78	0,70	0,63	0,55	0,45	0,35	0,29	0,25	0,23	0,21	0,18	
10	0,92	0,84	0,77	0,68	0,60	0,52	0,43	0,34	0,28	0,24	0,22	0,20	0,17	
20	0,90	0,83	0,76	0,66	0,58	0,51	0,41	0,33	0,28	0,24	0,22	0,20	0,17	
30	0,88	0,81	0,73	0,63	0,55	0,48	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,16	
40	0,84(0,83)	0,76(0,75)	0,68(0,67)	0,58(0,57)	0,51(0,50)	0,45(0,44)	0,37(0,36)	0,31(0,30)	0,26(0,25)	0,23(0,22)	0,21(0,20)	0,19(0,18)	0,16(0,15)	
50	0,79(0,77)	0,71(0,69)	0,63(0,61)	0,53(0,51)	0,47(0,45)	0,43(0,41)	0,36(0,34)	0,31(0,29)	0,26(0,24)	0,23(0,21)	0,21(0,20)	0,19(0,18)	0,16(0,15)	
60	0,73(0,70)	0,65(0,62)	0,58(0,55)	0,48(0,45)	0,43(0,40)	0,40(0,37)	0,34(0,31)	0,30(0,27)	0,26(0,24)	0,23(0,21)	0,21(0,19)	0,19(0,17)	0,16(0,14)	
70	0,63(0,59)	0,55(0,51)	0,49(0,45)	0,41(0,37)	0,39(0,33)	0,36(0,30)	0,31(0,25)	0,29(0,23)	0,25(0,19)	0,23(0,17)	0,21(0,16)	0,19(0,14)	0,16(0,11)	
80	0,53(0,49)	0,46(0,42)	0,42(0,38)	0,35(0,31)	0,33(0,29)	0,31(0,27)	0,26(0,22)	0,25(0,21)	0,22(0,18)	0,20(0,16)	0,18(0,14)	0,17(0,13)	0,14(0,10)	
90	0,43(0,38)	0,39(0,34)	0,37(0,32)	0,31(0,26)	0,29(0,24)	0,28(0,23)	0,24(0,19)	0,23(0,18)	0,21(0,16)	0,19(0,14)	0,18(0,13)	0,17(0,11)	0,14(0,09)	
100	0,35(0,32)	0,33(0,30)	0,31(0,28)	0,26(0,23)	0,25(0,22)	0,24(0,21)	0,21(0,18)	0,20(0,17)	0,19(0,15)	0,19(0,14)	0,18(0,13)	0,17(0,11)	0,14(0,08)	
110	0,30(0,27)	0,28(0,25)	0,27(0,24)	0,23(0,20)	0,22(0,19)	0,20(0,17)	0,18(0,15)	0,18(0,15)	0,17(0,14)	0,15(0,12)	0,15(0,11)	0,15(0,10)	0,13(0,08)	
120	0,26(0,24)	0,25(0,23)	0,24(0,22)	0,21(0,19)	0,20(0,18)	0,19(0,17)	0,16(0,14)	0,16(0,14)	0,15(0,13)	0,14(0,12)	0,13(0,11)	0,12(0,10)	0,10(0,08)	
130	0,23(0,21)	0,22(0,20)	0,21(0,19)	0,19(0,17)	0,18(0,16)	0,17(0,15)	0,15(0,13)	0,15(0,13)	0,14(0,12)	0,13(0,11)	0,12(0,10)	0,11(0,09)	0,10(0,08)	
140	0,21(0,20)	0,20(0,19)	0,19(0,18)	0,17(0,16)	0,16(0,15)	0,16(0,15)	0,14(0,13)	0,14(0,13)	0,13(0,12)	0,12(0,11)	0,11(0,10)	0,11(0,09)	0,09(0,08)	
150	0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	
160	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	
170	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	
180	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	
190	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	
200	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	
Примітка. Значення коефіцієнтів $\varphi, \varphi_c, \varphi_b$ дужках стосуються прокатних двотаврів з паралельними гранями полиць та зварних елементів двотаврового та Н- подібного перерізів, для розрахунку стійкості в площині полиць, якщо рівень залишкових напружень стиску в полицях більше ніж 50 МПа.														

Д.3 Розрахунки приведених відносних ексцентриситетів

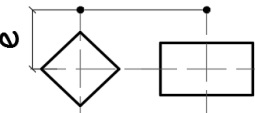
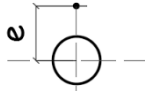
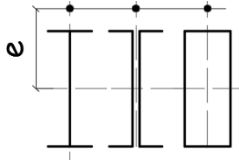
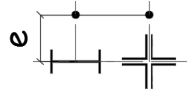
Значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} знаходять на основі відносних ексцентриситетів e_{rel} , з урахуванням коефіцієнта форми перерізу η і форми епюри моментів по довжині стрижня.

Д.3.1 Для стиснутих стрижнів, що мають одну вісь симетрії, значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} знаходять, лише з урахуванням коефіцієнта форми перерізу η , для $0,1 \leq e_{rel} < 5$, за формулою:

$$e_{ef} = \eta \cdot e_{rel}. \quad (Д.1)$$

Значення коефіцієнтів η визначають за формулами таблиці Д.4.

Таблиця Д.4 – Коефіцієнти форми η для поширених типів перерізів

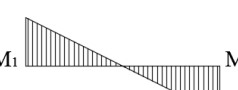
Схеми типів перерізів	$\frac{A_f}{A_w}$	Коефіцієнти форми перерізу для діапазонів умовної гнучкості та відносного ексцентриситету			
		$0,1 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$	
		$0,1 \leq e_{rel} < 5$	$5 \leq e_{rel} < 20$	$0,1 \leq e_{rel} < 5$	$5 \leq e_{rel} < 20$
	—	1,00			
	—	$1,30 - 0,05 \cdot e_{rel} -$ $-0,01 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,10		
	0,25	$1,45 - 0,05 \cdot e_{rel} -$ $-0,01 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,20		
	0,50	$1,75 - 0,10 \cdot e_{rel} -$ $-0,02 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,25		
	$\geq 1,0$	$1,90 - 0,10 \cdot e_{rel} -$ $-0,02 \cdot (6 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	$1,40 - 0,02 \bar{\lambda}$	1,30	
	0,25	$0,75 + 0,05 \cdot e_{rei} +$ $+ 0,01 \cdot (5 - e_{rei}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		
	0,50	$0,50 + 0,10 \cdot e_{rei} +$ $+ 0,02 \cdot (5 - e_{rei}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		
	$\geq 1,0$	$0,25 + 0,15 \cdot e_{rei} +$ $+ 0,03 \cdot (5 - e_{rei}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		
	0,50	$1,25 - 0,05 \cdot e_{rel} -$ $-0,01 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		
	$\geq 1,0$	$1,50 - 0,10 \cdot e_{rel} -$ $-0,02 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		

Схеми типів перерізів	$\frac{A_f}{A_w}$	Коефіцієнти форми перерізу для діапазонів умовної гнучкості та відносного ексцентриситету			
		$0,1 \leq \bar{\lambda} \leq 5$		$\bar{\lambda} > 5$	
		$0,1 \leq e_{rel} < 5$	$5 \leq e_{rel} < 20$	$0,1 \leq e_{rel} < 5$	$5 \leq e_{rel} < 20$
	0,5	$1,45 - 0,04 \cdot e_{rel}$	1,0	$1,45 + 0,04 \cdot e_{rel}$	1,65
	1,0	$1,80 - 0,12 \cdot e_{rel}$	1,0	$1,8 + 0,12 \cdot e_{rel}$	2,40
	1,5	$20 - 0,25 \cdot e_{rel} - 0,1 \cdot \bar{\lambda}$	–		
	2,0	$30 - 0,25 \cdot e_{rel} - 0,1 \cdot \bar{\lambda}$	–		
	0,5	1,4			
	1,0	$1,6 - 0,01 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$		$1,35 + 0,05 \cdot e_{rel}$	1,60
	2,0	$1,8 - 0,02 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$		$1,3 + 0,1 \cdot e_{rel}$	1,80

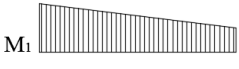
A_f – площа полиць (горизонтальних елементів);
 A_w – площа стінок (вертикальних елементів);
 $e_{rel} = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{W_c}$ – відносний ексцентриситет;
 M – найбільше значення згинального моменту по довжині стрижня;
 $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_{yn} / E}$ – умовна гнучкість.

Д.3.2 Для стиснутих стрижнів з двома осями симетрії значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} , визначають з урахуванням дійсної епюри моментів у залежності від ефективного ексцентриситету $e_{ef.M1}$ і умовної гнучкості $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_{yn} / E}$, користуючись даними таблиці Д.5.

Таблиця Д.5 – Значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} для стиснутих стрижнів з двома осями симетрії

$\delta = M_2 / M_1$	$\bar{\lambda}$	Приведені відносні ексцентриситети e_{ef} у залежності від ефективного ексцентриситету $e_{ef.M1}$										
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
 $M_2 = -M_1$ $\delta = -1,0$	1	0,10	0,30	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,4
	2	0,10	0,17	0,39	0,68	1,03	1,80	2,75	3,72	5,65	8,60	18,5
	3	0,10	0,10	0,22	0,36	0,55	1,17	1,95	2,77	4,60	7,40	17,2
	4	0,10	0,10	0,10	0,18	0,30	0,57	1,03	1,78	3,35	5,90	15,4
	5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,23	0,48	0,95	2,18	4,40	13,4
	6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,18	0,40	1,25	3,00	11,4
	7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	1,70	9,50
 $M_2 = -0,5 \cdot M_1$ $\delta = -0,5$	1	0,10	0,31	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,4
	2	0,10	0,22	0,46	0,73	1,05	1,88	2,75	3,72	5,65	8,60	18,5
	3	0,10	0,17	0,38	0,58	0,80	1,33	2,00	2,77	4,60	7,40	17,2
	4	0,10	0,14	0,32	0,49	0,66	1,05	1,52	2,22	3,50	5,90	15,4
	5	0,10	0,10	0,26	0,41	0,57	0,95	1,38	1,80	2,95	4,70	13,4
	6	0,10	0,16	0,28	0,40	0,52	0,95	1,25	1,60	2,50	4,00	11,5
	7	0,10	0,22	0,32	0,42	0,55	0,95	1,10	1,35	2,20	3,50	10,8

Кінець таблиці Д.5

$\delta = M_2 / M_1$	$\bar{\lambda}$	Приведені відносні ексцентриситети e_{ef} у залежності від ефективного ексцентриситету $e_{ef.M1}$										
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
 $M_2 = 0$ $\delta = 0$	1	0,10	0,32	0,70	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,4
	2	0,10	0,28	0,60	0,90	1,28	1,96	2,75	3,72	5,65	8,40	18,5
	3	0,10	0,27	0,55	0,84	1,15	1,75	2,43	3,17	4,80	7,40	17,2
	4	0,10	0,26	0,52	0,78	1,10	1,60	2,20	2,83	4,00	6,30	15,4
	5	0,10	0,25	0,52	0,78	1,10	1,55	2,10	2,78	3,85	5,90	14,5
	6	0,10	0,28	0,52	0,78	1,10	1,55	2,00	2,70	3,80	5,60	13,8
	7	0,10	0,32	0,52	0,78	1,10	1,55	1,90	2,60	3,75	5,50	13,0
 $M_2 = 0,5 \cdot M_1$ $\delta = 0,5$	1	0,10	0,40	0,80	1,23	1,68	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,4
	2	0,10	0,40	0,78	1,20	1,60	2,30	3,15	4,10	5,85	8,60	18,5
	3	0,10	0,40	0,77	1,17	1,55	2,30	3,10	3,90	5,55	8,13	18,0
	4	0,10	0,40	0,75	1,13	1,55	2,30	3,10	3,80	5,30	7,60	17,5
	5	0,10	0,40	0,75	1,10	1,55	2,30	3,05	3,80	5,30	7,60	17,0
	6	0,10	0,40	0,75	1,10	1,50	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,5
	7	0,10	0,40	0,75	1,10	1,40	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,0

Д.3.3 Ефективний ексцентриситет $e_{ef.M1}$ визначають за формулою:

$$e_{ef.M1} = \eta \cdot \frac{M_1}{N} \cdot \frac{A}{W_c}, \quad (Д.2)$$

де η – коефіцієнт форми, який знаходять за формулами таблиці Д.4;

M_1 – найбільший момент у кінцевому перерізі стрижня.

Д.3.4 Розрахункові значення моменту в перерізах стрижня з однією віссю симетрії, що співпадає з площиною згину, знаходять за таблицею Д.6.

Таблиця Д.6 – Розрахункові значення моменту в перерізах стрижня з однією віссю симетрії, що співпадає з площиною згину

Відносний ексцентриситет e_{rel} , що відповідає M_{max}	Значення моменту в перерізах за умовної гнучкості стрижня	
	$\bar{\lambda} \leq 4$	$\bar{\lambda} > 4$
$e_{rel} \leq 3$	$M = M_2 = M_{max} - \frac{\bar{\lambda}}{4} \cdot (M_{max} - M_1)$	$M = M_1$
$3 < e_{rel} \leq 20$	$M = M_2 + \frac{e_{rel} - 3}{17} \cdot (M_{max} - M_2)$	$M = M_1 + \frac{e_{rel} - 3}{17} \cdot (M_{max} - M_1)$
M_{max} – найбільший згинальний момент у межах довжини стрижня; M_1 – найбільший згинальний момент у межах середньої третини довжини стрижня, але не менше, ніж $0,5 \cdot M_{max}$; e_{rel} – відносний ексцентриситет, визначають за формулою: $e_{rel} = \frac{M_{max}}{N} \cdot \frac{A}{W_c}$; $\bar{\lambda}$ – умовна гнучкість, визначають за формулою: $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_{yn} / E}$.		
Примітка. У всіх випадках слід приймати $M \geq 0,5 \cdot M_{max}$.		

Д.4 Розрахунки критичних зусиль N_{cr} та M_{cr} **Д.4.1 Загальне**

Д.4.1.1 Для стрижнів, у яких центр ваги не співпадає з центром згину втрата стійкості виникає за згинально-крутильною формою.

Д.4.1.2 Гнучкість елементів визначають з використанням критичних зусиль N_{cr} і M_{cr} .

Д.4.2 Формули для розрахунків критичних зусиль

Д.4.2.1 Критична сила N_{cr} для згинально-крутильної втрати стійкості центрально стиснутого стрижня з площиною симетрії у-у за умови $I_x > I_y$ зі згином у площині найменшої жорсткості, знаходять за формулою:

$$N_{cr} = \frac{r^2 \cdot (N_y + N_\omega) \pm \sqrt{r^4 \cdot (N_y + N_\omega)^2 - 4 \cdot r^2 \cdot N_y \cdot N_\omega (r^2 + y_s^2)}}{2 \cdot (r^2 - y_s^2)}. \quad (\text{Д.3})$$

Д.4.2.2 Критична сила $N = N_{cr}$ для згинально-крутильної втрати стійкості для стрижня, підданого стиску із згином і позацентровому стиску в площині симетрії у-у за умови $I_x > I_y$, визначають як менший корінь кубічного рівняння:

$$a \cdot N^3 + b \cdot N^2 + c \cdot N + d = 0, \quad (\text{Д.4})$$

де

$$\begin{aligned} a &= (-r^2 - \delta_y + k_1 \cdot y_q^2); \\ b &= N_x \cdot (r^2 + \delta_y - k_1 \cdot y_q^2) + N_y \cdot (r^2 + \delta_y) + r^2 \cdot N_\omega; \\ c &= N_x \cdot N_y (-r^2 - \delta_y) - r^2 \cdot (N_\omega \cdot N_x + N_\omega \cdot N_y); \\ d &= r^2 \cdot N_x \cdot N_y \cdot N_\omega. \end{aligned} \quad (\text{Д.5})$$

Д.4.2.3 Критична сила $N = N_{cr}$ для згинально-крутильної втрати стійкості для стрижня, підданого стиску із згином і позацентровому стиску в обох площинах, знаходять як менший корінь кубічного рівняння:

$$a \cdot N^3 + b \cdot N^2 + c \cdot N + d = 0, \quad (\text{Д.6})$$

де

$$a = (-r^2 - \delta_x - \delta_y + k_1 \cdot x_q^2 + k_1 \cdot y_q^2), \quad (\text{Д.7})$$

$$b = N_x \cdot (r^2 + \delta_x + \delta_y - k_1 \cdot y_q^2) + N_y \cdot (r^2 + \delta_x + \delta_y - k_1 \cdot x_q^2) + r^2 \cdot N_\omega,$$

$$c = N_x \cdot N_y \cdot (-r^2 - \delta_x - \delta_y) - r^2 \cdot (N_\omega \cdot N_x + N_\omega \cdot N_y),$$

$$d = r^2 \cdot N_x \cdot N_y \cdot N_\omega.$$

Д.4.2.4 Критичний момент M_{cr} для згинально-крутильної втрати стійкості від рівномірного навантаження балки інтенсивністю q для згині в площині симетрії $y-y$ за умови $I_x > I_y$ знаходять за формулою:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l^2} \cdot c_y \pm \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l^2} \cdot \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l^2} \cdot c_y^2 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_\omega}{l^2} + G \cdot I_T \right)}. \quad (\text{Д.8})$$

Д.4.2.5 Критичний момент $M = M_{cr}$ для згинально-крутильної втрати стійкості від рівномірного навантаження балки інтенсивністю q для згину в площині симетрії $y-y$ за умови $I_x > I_y$ визначають як корінь з квадратного рівняння:

$$a \cdot M^2 + b \cdot M + c = 0, \quad (\text{Д.9})$$

де $a = \frac{64 \cdot l}{E \cdot I_y \cdot G \cdot I_T},$

$$b = \left(656,6 \cdot \frac{y_d}{G \cdot I_T} - 751,8 \cdot \frac{c_y}{G \cdot I_T} \right);$$

$$c = - \left(7995 \cdot \frac{E \cdot I_\omega}{l^2 \cdot G \cdot I_T} + 810,1 \right).$$

Те саме, можна знайти за формулою:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot G \cdot I_T}{79 \cdot L^2} \cdot \left| B \pm \sqrt{B^2 + (8000 \cdot a + 810 \cdot L^2) \cdot E \cdot I_y / (G \cdot I_T)} \right|, \quad (\text{Д.10})$$

де $a = E \cdot I_\omega / (G \cdot I_T);$

$$B = 23,5 \cdot b_1 - 41 \cdot b_2, \text{ де } b_1 = 2 \cdot c_y \cdot c_1; \quad b_2 = (y_a - y_s) \cdot c_1.$$

У формулах (Д.3) – (Д.10) позначено:

$$c_1 = E \cdot I_y / (G \cdot I_T),$$

$$N_x = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L_y^2} - \text{критична сила для згину вздовж осі } y;$$

$$N_y = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_x^2} - \text{критична сила для згину вздовж осі } x;$$

N_ω – критична сила у випадку кручення;

k_1 – коефіцієнт закріплення кінців: $k_1 = 1$ у випадку вільної депланації кінців і $k_1 = 4$ – за умови їх закріплення;

E і G – модуль деформації і модуль зсуву;

L_x, L_y – ефективні довжини елементів для згину вздовж осей x та y ;

A, I_x, I_y і I_T – площа, моменти інерції відносно осей x та y , і момент інерції вільного кручення;

I_ω – секторіальний момент інерції;

x_s і y_s – координати центру згину;

$$c_x \text{ і } c_y - \text{характеристики: } c_x = x_s - \frac{\int x^3 dA + \int y^2 x dA}{2 \cdot I_y}; \quad c_y = y_s - \frac{\int y^3 dA + \int x^2 y dA}{2 \cdot I_x};$$

$$r^2 = i_x^2 + i_y^2 + x_s^2 + y_s^2 \quad \text{або} \quad r^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_s^2 + y_s^2 - \text{характеристика кола}$$

інерції.

Д.5 Максимальні відстані між в'язями для стиснутого поясу

Вільна довжина стиснутого поясу l_{ef} суцільної зігнутої балки має дорівнювати відстані між поперечними в'язями, що утримують пояс від бокових зміщень. В'язі потрібно розраховувати на умовну поперечну силу за формулою:

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} \cdot (2330 - E / R_{yn}) \cdot \frac{N}{\phi}, \quad (\text{Д.11})$$

де E і R_{yn} – модуль пружності і характеристичний опір текучості сталі;

N – поздовжнє зусилля в стиснутому поясі та прилеглій ділянці стінки:

$$N = (A_f + 0,25A_w) \cdot R_{yn}, \quad (\text{Д.12})$$

A_f, A_w – площа стиснутого поясу і площа стінки;

ϕ – коефіцієнт поздовжнього згину стиснутого поясу з гнучкістю

$$\lambda = l_{ef} / i;$$

i – радіус інерції стиснутого поясу в горизонтальній площині.

Обмеження відстаней між в'язями l_{ef} стиснутого поясу зварних та прокатних балок (за умови відношення $1 \leq h/b_f \leq 6$ і $15 \leq b_f/t_f \leq 35$), допускається знаходити за таблицею Д.7.

Таблиця Д.7 – Максимальні значення відношення l_{ef}/t_f

Прикладання навантаження	Максимальне значення відношення l_{ef}/t_f
До верхнього поясу	$l_{ef}/b_f \leq \left[0,35 + 0,0032 \cdot b_f/t_f + (0,76 - 0,02b_f/t_f) b_f/h \right] \cdot \sqrt{E/R_{yn}}$
До нижнього поясу	$l_{ef}/b_f \leq \left[0,57 + 0,0032 \cdot b_f/t_f + (0,92 - 0,02b_f/t_f) b_f/h \right] \cdot \sqrt{E/R_{yn}}$
Незалежно від рівня прикладання навантаження	для чистого згину ділянки балки між в'язями за умови чистого згину $l_{ef}/b_f \leq \left[0,41 + 0,0032 \cdot b_f/t_f + (0,73 - 0,01b_f/t_f) b_f/h \right] \cdot \sqrt{E/R_{yn}}$
Позначення в таблиці Д.7: b_f і t_f – ширина і товщина стиснутого поясу; h – відстань між осями поясів. Для балок з закріпленням поясу на високоміцних болтах табличні значення l_{ef}/b_f можуть бути збільшені у 1,2 рази; Для балок з відношенням $b_f/t_f < 15$, у формулах слід приймати $b_f/t_f = 15$.	

РОЗРАХУНКИ МІСЦЕВОЇ СТІЙКОСТІ ПЛАСТИНОК, РЕБЕР ЖОРСТКОСТІ І ОРТОТРОПНИХ ПЛИТ

Е.1 Розрахунки місцевої стійкості стінок балок, підкріплених ребрами жорсткості

Е.1.1 Визначення діючих зусиль у відсіках стінки

(1) Розраховувана конструкція – це стінка балки, що укріплена поперечними або поперечними і поздовжніми ребрами жорсткості. Ребра поділяють стінки на окремі відсіки, стійкість яких потрібно перевіряти. Вимоги до жорсткості ребер наведені у розділі Е.2. Схема до розрахунку стінки на стійкість відсіків наведена на рисунку Е.1.

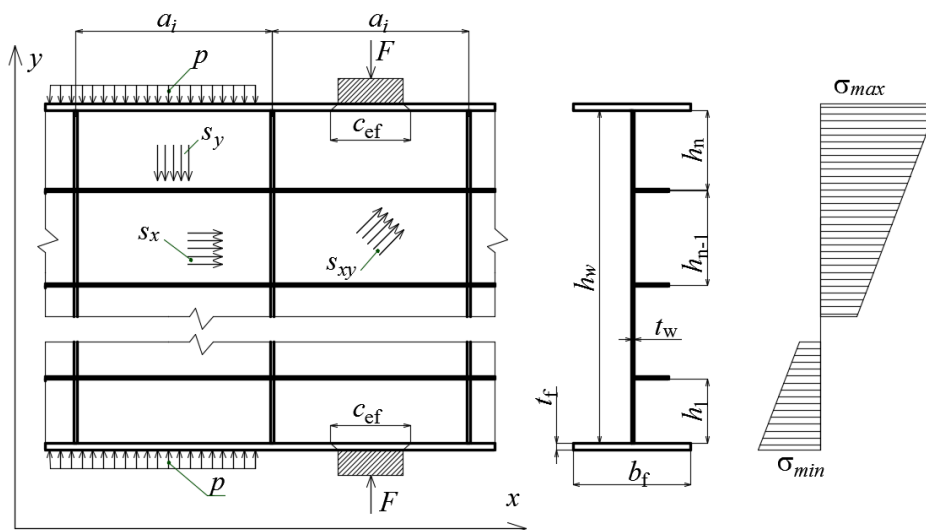


Рисунок Е.1 – Схема до розрахунку стінки на стійкість відсіків

(2) Розрахунок стійкості відсіку поділено на етапи, як показано на рисунку Е.2.

(3) Основні позначення:

N – поздовжня сила (додатна у випадку стиснення), що діє в розрахунковому перерізі мосту;

M – згинальний момент (найбільший) у розрахунковому перерізі мосту;

Q – поперечна сила (найбільша) в розрахунковому перерізі мосту;

P – розподілена сила (по y), прикладена до поясу;

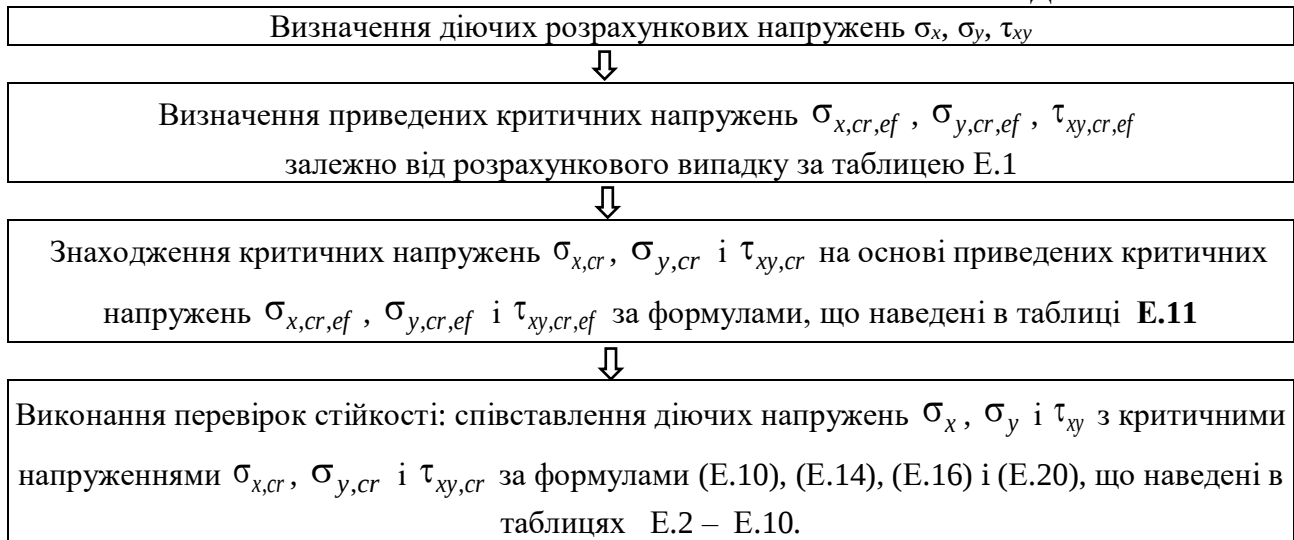


Рисунок Е.2 – Етапи розрахунку відсіків стінки

F – зосереджена сила (по y), прикладена до поясу;

S_x – потік поздовжніх зусиль по x від локальних дій;

S_y – потік поздовжніх зусиль по y від локальних дій;

S_{xy} – потік дотичних напружень від локальних дій;

I – момент інерції перерізу мосту;

S_i – статичний момент по крайках i -го відсіку;

n – кількість відсіків по висоті;

i – відсік, що розглядається;

h_w – висота стінки;

h_i – висота i -го відсіку;

a_i – ширина i -го відсіку;

t_i – товщина i -го відсіку;

c_{ef} – довжина розподілення прикладеної до поясу сили на рівні кромки стінки;

y_i – ордината рівня розрахунку напружень в i -тому відсіку від навантаженого поясу.

$\sigma_{x,i,max}, \tau_{xy,i,max}$ – максимальні напруження в i -тому відсіку; нормальні (додатні у випадку стиснення) і дотичні (додатні завжди);

$\sigma_{x,i,\min}$, $\tau_{xy,i,\min}$ – мінімальні напруження в i -тому відсіку; нормальні (додатні у випадку стиснення) і дотичні (додатні завжди);

$\sigma_{y,i,\max}$ – максимальні поперечні напруження в i -тому відсіку (додатні у випадку стиснення);

d_i – менша із сторін i -го відсіку a_i або h_i ;

$\xi_i = 1 - \sigma_{x,i,\min} / \sigma_{x,i,\max}$ – коефіцієнт перекосу епюри напружень у межах i -го відсіку;

$\mu_i = a_i / h_i$ – коефіцієнт форми i -го відсіку;

$\mu_1 = \mu$ за умови $a_i \geq h_i$, інакше $\mu_1 = 1/\mu$;

χ – коефіцієнт пружного утримання стінки поясом балки. Визначають для крайніх відсіків за таблицями Е.14 – Е.19, та відповідно до вказівок до формул. Для проміжних відсіків $\chi = 1,0$;

ς – коефіцієнт, що враховує локальний характер дії сили F і приймають відповідно до таблиці Е.21. Для розподіленого навантаження $\varsigma = 1,0$;

$\rho = 1,04 \cdot a_i / h_i$ – коефіцієнт відповідно до таблиці Е.21, що враховує локальний характер сили F на i -й відсік;

z – коефіцієнт, що враховує форму відсіку і знаходять за таблицею Е.22;

i – коефіцієнт, що враховує форму відсіку, і дорівнює: $i = 1,0$ за умови $\mu_i \geq 0,7$; $i = 2,0$ за умови $0,4 < \mu_i < 0,7$;

δ – коефіцієнт, що враховує форму відсіку і знаходять за таблицею Е.23.

(4) Потоки зусиль S_x , S_y і S_{xy} у листі стінки – це зусилля віднесені до одиничної ширини. Розмірність – сила/ширина. Потік зусиль поділений на товщину це напруження. Потоками зусиль легше оперувати, коли товщина стінки невідома.

(5) Розподіл зусиль від поперечного навантаження на кромку стінки визначають за формулами (Е.1) і (Е.2):

– від розподіленого вздовж поясу навантаження p :

$$\sigma_y = p / t, \quad (\text{Е.1})$$

– від зосередженої сили F :

$$\sigma_y = F / (t \cdot c_{ef}). \quad (\text{E.2})$$

(6) Довжина розподілу навантаження вздовж верхньої кромки стінки c_{ef} визначають за формулами (E.3) і (E.4):

– у випадку передачі навантаження безпосередньо через пояс балки, або через рейку і пояс:

$$c_{ef} = c \cdot \sqrt[3]{I_f / t}, \quad (\text{E.3})$$

де $c = 3,25$ – для зварних та прокатних балок;

$c = 3,75$ – для з'єднання поясу на високоміцних болтах;

$c = 4,50$ – для з'єднання поясу на звичайних болтах;

I_f – момент інерції поясу або сума моментів інерції поясу і рейки;

– у випадку передачі навантаження від котка через рейку, дерев'яний лежень і пояс балки, розподіл зусиль приймають під кутом 45° від сили за формулою (E.4), але не більше відстані між котками:

$$c_{ef} = 2 \cdot h, \quad (\text{E.4})$$

де h – відстань від поверхні рейки до кромки стінки балки;

– за умови передачі тиску від колеса автомобіля за формулою (E.5), відповідно до рисунку E.3.

$$c_{ef} = c + 2 \cdot (h_s - h_f) \quad (\text{E.5})$$

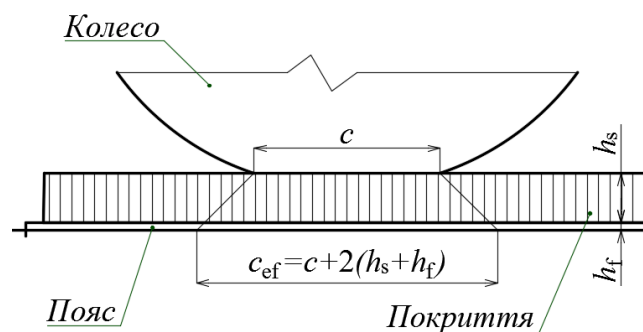


Рисунок E.3 – Схема передачі тиску від колеса автомобіля

На рисунку E.3 позначено:

c – відбиток колеса на покритті;

h_s – товщина покриття;

h_f – товщина поясу;

c_{ef} – довжина розподілу зусилля на кромку стінки.

(7) Розподіл напружень по висоті стінки від навантажень прикладених до поясу оцінюють на основі розрахунку скінченно-елементної моделі.

Допускається приймати розподіл від розподіленої вздовж поясу сили за формулою (Е.6), від зосередженої сили за формулою (Е.7).

Напруження на i -тому рівні стінки на відстані y_i від зосередженої сили F прикладеної до покриття або поясу знаходять за формулою:

$$\sigma_{y,f,i} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot c_{ef} \cdot t} \cdot \left(\arctg \frac{\alpha}{v} - 3 \cdot v^2 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot v \right) \cdot \arctg \alpha \right), \quad (\text{Е.6})$$

де $\alpha = 0,5 \cdot c_{ef} / h_w$ – відношення $1/2$ штампу розподілу зосередженої сили до висоти стінки;

$v = y_i / h_w$, де y_i – відстань від навантаженого поясу до i -того рівня підрахунку напружень.

Напруження на i -тому рівні стінки від дії розподіленої сили p , прикладеної до кромки стінки через пояс знаходять за формулою:

$$\sigma_{y,f,i} = \frac{p}{t} \cdot (1 - 3 \cdot v^2 + 2 \cdot v^3). \quad (\text{Е.7})$$

(8) Напруження σ_x , σ_y і τ_{xy} потрібно знаходити для верхньої та нижньої кромки відсіку, враховуючи і локальні напруження. На рисунку Е.1 показаний фрагмент стінки, який поділений поперечними та поздовжніми ребрами на відсіки і показана епюра нормальних напружень σ_x від дії в перерізі сил M і N . Напруження по границям i -того відсіку від дії глобальних і локальних дій потрібно розраховувати за формулами: (Е.8) для нормальних напружень, (Е.9) – для дотичних.

$$\sigma_{x,i} = \frac{N}{A} + \frac{M \cdot y_i}{I} + \frac{s_x}{t_i}; \quad \sigma_{y,i} = \sigma_{y,f,i} + \frac{s_y}{t_i}. \quad (\text{Е.8})$$

$$\tau_{xy,i} = \frac{Q \cdot S_i}{I \cdot t_i} + \frac{s_{xy}}{t_i}. \quad (\text{E.9})$$

Е.1.2 Вибір розрахункового випадку

(1) Розрахункові випадки для оцінки стійкості відсіків стінки можна звести до дев'яти, залежно від чотирьох критеріїв: напруженого стану стінки, кількості поздовжніх ребер, положення відсіку по висоті стінки і напруженого стану відсіку. Вибір розрахункового випадку для розрахунку критичних напружень у відсіках та формул для перевірки стійкості здійснюють, користуючись таблицею Е.1.

Таблиця Е.1 – Розрахункові випадки для оцінки стійкості відсіків стінки

Критерії віднесення до розрахункового випадку				№ № розрахункових випадків
Напружений стан стінки	Число поздовжніх ребер на стінці	Положення відсіку по висоті стінці	Напружений стан відсіку ¹	
Стиснуто- розтягнута стінка по напрямку вздовж балки	Без ребер	Крайній	Стиснуто- розтягнутий	РВ 1
	Одне ребро	Крайній	Пояс розтягнутий	РВ 2
		Крайній	Пояс стиснутий	РВ 3
	Два і більше ребер	Крайній	Розтягнутий	РВ 4
		Проміжний	Розтягнутий	РВ 5
		Проміжний	Стиснуто- розтягнутий	РВ 6
		Проміжний	Стиснутий	РВ 7
		Крайній	Стиснутий	РВ 8
Стиснута стінка	—	—	—	РВ 9

¹ – Напружений стан стінки і відсіку оцінюють тільки за епюрами розрахункових діючих поздовжніх нормальних напружень σ_x .

Е.1.3 Формули для розрахунків стійкості

(1) Розрахунки стійкості відсіків стінки виконують за формулами таблиць Е.2 – Е.10, де надані формули для розрахункових випадків РВ1...РВ.9, згідно з переліченими в таблиці Е.1.

Таблиця Е.2 – Розрахунковий випадок РВ1

$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}}\right)^2 + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\omega_2 \cdot \tau_{xy,cr}}\right)^2} \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow \text{таблиця Е.13 як функція від } \xi; \omega_2 = 1 + 0,5 \cdot \left(\frac{h_w}{200 \cdot t_i} - 0,5\right)$		(Е.10)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{h_i}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,4 \text{ або } \chi \rightarrow \text{таблиця Е.14}; \varepsilon \rightarrow \text{таблиця Е.20 як функція від } \mu \text{ і } \xi$	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \varsigma \cdot \chi \cdot z \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\varsigma = 1,0 \text{ або } \varsigma \rightarrow \text{таблиця Е.21}; \chi \rightarrow \text{таблиця Е.15}; z \rightarrow \text{таблиця Е.22}$	(Е.12)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2}\right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0 \text{ або } \chi \rightarrow \text{таблиця Е.16}; \mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i \text{ і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.13)

Таблиця Е.3 – Розрахунковий випадок РВ2

$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}}\right)^2 + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\omega_2 \cdot \tau_{xy,cr}}\right)^2} \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow \text{таблиця Е.13 як функція від } \xi; \omega_2 = 1$		(Е.10)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0; \varepsilon \rightarrow \text{таблиця Е.20 як функція від } \mu \text{ і } \xi$	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \varsigma \cdot \chi \cdot z \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\varsigma = 1,0 \text{ або } \varsigma \rightarrow \text{таблиця Е.21 за умови } \rho = 0,35; \chi = 1,0; z \rightarrow \text{таблиця Е.22}$	(Е.12)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2}\right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0 \text{ або } \rightarrow \text{таблиця Е.16}; \mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i \text{ і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.13)

Таблиця Е.4 – Розрахунковий випадок РВ3

$\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}} + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}} \right)^2 \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow$ таблиця Е.13 як функція від ξ		(Е.14)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\chi \rightarrow$ таблиця Е.17 як функція від γ, або = 1,35, або 1,3; $\varepsilon \rightarrow$ таблиця Е.20 як функція від μ і ξ	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \frac{(1 + \mu^2 \cdot i^2)^2}{\mu^2 \cdot i^2} \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $i = 1,0$ за умови $\mu \geq 0,7$ та $i = 2,0$ за умови $0,7 < \mu < 0,4$; $\chi \rightarrow$ таблиця Е.18 для СТЗБ, або $\rightarrow$ таблиця Е.19 для зварних балок. Якщо є зосереджена сила, то значення $\sigma_{y,cr,ef}$ слід помножити на 1,55 і якщо $a > 2 \cdot (h_1 + a_p)$, то $\mu = \frac{2 \cdot (h_1 + a_p)}{h_1}$	(Е.15)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2} \right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d} \right)^2 \cdot E$ $\chi_1 = \frac{1 + \chi}{2}$ або $\rightarrow$ таблиця Е.16; $\mu_1 = \mu$ за умови $a > h_i$ і $\mu_1 = 1/\mu$ за умови $a \leq h_i$	(Е.13)

Таблиця Е.5 Розрахунковий випадок РВ4

$\sqrt{\frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}} + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}} \right)^2} \leq 1,0$		(Е.16)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{y,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \delta \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\delta \rightarrow$ таблиця Е.23 як функція від a/h	(Е.17)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1250 + \frac{950}{\mu_1^2} \right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d} \right)^2 \cdot E$ $\mu_1 = \mu$ за умови $a > h_i$ і $\mu_1 = 1/\mu$ за умови $a \leq h_i$	(Е.18)

Таблиця Е.6 Розрахунковий випадок РВ5

	$\sqrt{\frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}} + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}}\right)^2} \leq 1,0$	(Е.16)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{y,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \delta \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\delta \rightarrow \text{таблиця Е.23 як функція від } a/h$	(Е.17)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2}\right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d}\right)^2 \cdot E$ $\mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i \text{ і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.19)

Таблиця Е.7 – Розрахунковий випадок РВ6

	$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}}\right)^2 + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}}\right)^2} \leq 1,0 \quad \omega_1 = 1,0 \quad \omega_2 = 1,0$	(Е.10)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0; \varepsilon \rightarrow \text{таблиця Е.20 як функція від } \mu \text{ і } \xi$	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \varsigma \cdot \chi \cdot z \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\varsigma = 1,0 \text{ або } \varsigma \rightarrow \text{таблиця Е.21 за умови } \rho = 0,35; \chi = 1,0; z \rightarrow \text{таблиця Е.22}$	(Е.12)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2}\right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0 \text{ або } \chi \rightarrow \text{таблиця Е.16; } \mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i \text{ і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.13)

Таблиця Е.8 – Розрахунковий випадок РВ7

$\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}} + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}} \right)^2 \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow \text{таблиця Е.13 як функція від } \xi$		(Е.14)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0; \varepsilon \rightarrow \text{таблиця Е.20 як функція від } \mu \text{ і } \xi$	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \frac{(1 + \mu^2 \cdot i^2)^2}{\mu^2 \cdot i^2} \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $i = 1,0 \text{ за умови } \mu \geq 0,7; i = 2,0 \text{ за умови } 0,4 < \mu < 0,7$	(Е.15)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2} \right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d} \right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0 \text{ або } \chi \rightarrow \text{таблиця Е.16; } \mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i \text{ і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.13)

Таблиця Е.9 – Розрахунковий випадок РВ8

$\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}} + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}} \right)^2 \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow \text{таблиця Е.13 як функція від } \xi$		(Е.14)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\chi \rightarrow \text{таблиця Е.14; } \varepsilon \rightarrow \text{таблиця Е.20 як функція від } \mu \text{ і } \xi$	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \frac{(1 + \mu^2 \cdot i^2)^2}{\mu^2 \cdot i^2} \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $i = 1,0 \text{ за умови } \mu \geq 0,7; i = 2,0 \text{ за умови } 0,4 < \mu < 0,7;$ $\chi \rightarrow \text{таблиця Е.18 або } \rightarrow \text{таблиця Е.19}$	(Е.15)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2} \right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d} \right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0 \text{ або } \chi \rightarrow \text{таблиця Е.16; } \mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i$ $\text{і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.13)

Таблиця Е.10 – Розрахунковий випадок РВ9

$\frac{1,1 \cdot \sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{1,1 \cdot \sigma_y}{\sigma_{y,cr}} + \left(\frac{\tau_{xy}}{\tau_{xy,cr}} \right)^2 \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow \text{таблиця Е.13 як функція від } \xi$		(Е.20)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0; \varepsilon \rightarrow \text{таблиця Е.20 як функція від } \mu \text{ і } \xi$	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \zeta \cdot \chi \cdot z \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\zeta = 1,0 \text{ або } \zeta \rightarrow \text{таблиця Е.21}; \chi \rightarrow \text{таблиця Е.15}; z \rightarrow \text{таблиця Е.22}$	(Е.12)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2} \right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d} \right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0 \text{ або } \chi \rightarrow \text{таблиця Е.16}; \mu_1 = \mu \text{ за умови } a > h_i \text{ і } \mu_1 = 1/\mu \text{ за умови } a \leq h_i$	(Е.13)

У таблицях Е.2 – Е.10 зроблені посилання на коефіцієнти β , γ , ω_1 , χ , ε , ζ , z , i , δ , розрахунок яких наведений у пункті Е.1.5.

Е.1.4 Розрахунок критичних напружень

Приведені критичні напруження $\sigma_{x,cr,ef}$, $\sigma_{y,cr,ef}$, $\tau_{xy,cr,ef}$ знайдені в припущенні необмеженої пружності за формулами таблиць Е.2 – Е.10. Значення критичних напружень $\sigma_{x,cr}$, $\sigma_{y,cr}$, $\tau_{xy,cr}$ у формулах (Е.10), (Е.14), (Е.16), (Е.20) обмежують напруження, викликані появою текучості, відповідно до формул за таблицею Е.11.

Таблиця Е.11 – Критичні напруження $\sigma_{x,cr}$

Клас сталі	Значення $\sigma_{x,cr,ef}$, МПа	Формули для визначення критичних напружень $\sigma_{x,cr}$
С235	0–196	$\sigma_{x,cr} = 0,9 \cdot \sigma_{x,cr,ef} \cdot m$
	196–385	$\sigma_{x,cr} = \left[-170,7 \cdot \left(\frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} \right)^2 + 0,6375 \cdot \frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} + 0,4048 \cdot 10^{-3} \right] \cdot E \cdot m$
	> 385	$\sigma_{x,cr} = \left[0,03114 \cdot \frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} + 0,9418 \cdot 10^{-3} \right] \cdot E \cdot m$

Кінець таблиці Е.11

Клас сталі	Значення $\sigma_{x,cr,ef}$, МПа	Формули для визначення критичних напружень $\sigma_{x,cr}$
С345	0–207	$\sigma_{x,cr} = 0,9 \cdot \sigma_{x,cr,ef} \cdot m$
	207–524	$\sigma_{x,cr} = \left[-201,2 \cdot \left(\frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} \right)^2 + 1,024 \cdot \frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} + 0,0795 \cdot 10^{-3} \right] \cdot E \cdot m$
	> 524	$\sigma_{x,cr} = \left[0,03572 \cdot \frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} + 1,290 \cdot 10^{-3} \right] \cdot E \cdot m$
С390	0–229	$\sigma_{x,cr} = 0,9 \cdot \sigma_{x,cr,ef} \cdot m$
	229–591	$\sigma_{x,cr} = \left[-215,8 \cdot \left(\frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} \right)^2 + 1,238 \cdot \frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} + 0,1091 \cdot 10^{-3} \right] \cdot E \cdot m$
	> 591	$\sigma_{x,cr} = \left[0,03677 \cdot \frac{\sigma_{x,cr,ef}}{E} + 1,561 \cdot 10^{-3} \right] \cdot E \cdot m$

Примітка 1. У таблиці надані формули для визначення поздовжніх критичних напружень вздовж осі x . Для визначення критичних поперечних напружень у формулах слід замінити $\sigma_{x,cr}$ на $\sigma_{y,cr}$ і $\sigma_{x,cr,ef}$ на $\sigma_{y,cr,ef}$. Для визначення критичних дотичних напружень у формулах слід замінити $\sigma_{x,cr}$ на $\tau_{xy,cr} / 0,6$ і $\sigma_{x,cr,ef}$ на $\tau_{xy,cr,ef} / 0,6$.

Примітка 2. У формулах m – коефіцієнт умов роботи, який визначають за таблицею 7.1.

На рисунку Е.4 побудований графік на основі формул таблиці Е.11.

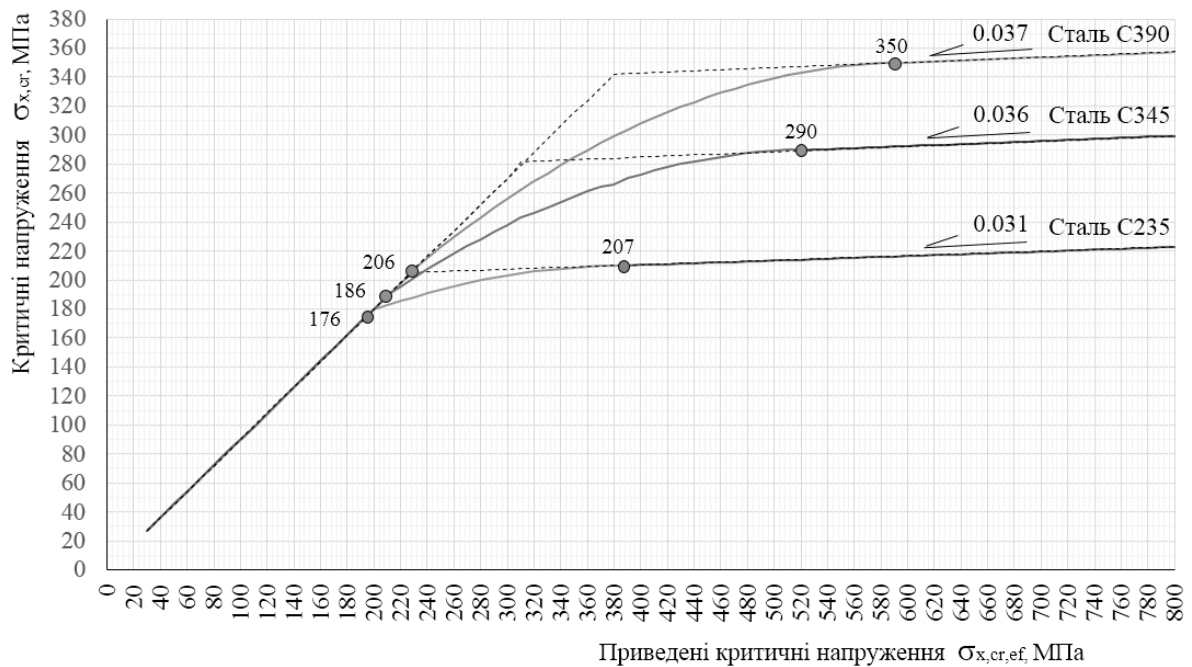


Рисунок Е.4 – Графік для критичних напружень $\sigma_{x,cr}$ для $m = 1,0$

Е.1.5 Таблиці для розрахунку параметрів β , γ , ω_1 , χ , ε , ς , z і δ

1. Коефіцієнт β враховує ступінь защемлення поясу балки елементами плити проїзду.

2. Коефіцієнт $\gamma = \beta \cdot \frac{b_f}{h_i} \cdot \left(\frac{t_f}{t_i} \right)^3$ враховує защемлення пластинки стінки поясом балки;

t_f і b_f – товщина і ширина поясу балки; для ортотропної плити обмежена значенням 15 товщин у кожний бік від стінки; для поясу з двох і більше листів, за t_f і b_f приймають товщину і розрахункову ширину першого листа, що примикає до стінки;

t_i і h_i – товщина і висота відсіку стінки, що примикає до поясу.

3. Коефіцієнт ω_1 враховує форму епюри нормальних напружень.

4. Коефіцієнт χ враховує пружне защемлення відсіку стінки поясом.

5. Коефіцієнт ε , враховує відношення сторін відсіку і ступінь перекосу епюри напружень по висоті стінки, залежно від коефіцієнтів ξ і μ .

6. Коефіцієнт ς враховує локальний характер дії зосередженої сили.

7. Коефіцієнт z залежить від геометрії відсіків.

8. Коефіцієнт δ залежить від геометрії відсіків.

Таблиця Е.12 – Значення коефіцієнта β

№№	Характер закріплення стиснутого поясу балки завареного до стінки	Коефіцієнт β
1	До поясу за допомогою лапчастих болтів закріплені мостові бруси	0,3
2	До поясу шпильками прикріплена з/б плита на дерев'яних підкладках	0,5
3	Пояс вільний від закріплень	0,8
4	До поясу приєднана ортотропна плита	2,0
5	До поясу приєднана збірна залізобетонна плита	1,5

Таблиця Е.13 – Значення коефіцієнта ω_1

ξ	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
ω_1	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,30	1,40

Таблиця Е.14 – Коефіцієнт χ для розрахунку напружень $\sigma_{x,cr,ef}$.

γ	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	10	>10
χ	1,21	1,33	1,46	1,55	1,60	1,63	1,65

Для болтового прикріплення поясу $\chi = 1,4$.

Таблиця Е.15 – Коефіцієнт χ для розрахунку напружень $\sigma_{y,cr,ef}$

γ	Значення коефіцієнта χ за значення μ					
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	$\geq 2,0$
0,25	1,19	1,19	1,20	1,20	1,19	1,18
0,5	1,24	1,29	1,30	1,32	1,32	1,32
1,0	1,28	1,36	1,41	1,47	1,52	1,56
4,0	1,32	1,45	1,57	1,73	1,97	2,21
≥ 10	1,34	1,49	1,65	1,88	2,51	2,95

Таблиця Е.16 – Коефіцієнт χ для розрахунку напружень $\tau_{xy,cr,ef}$

γ	Значення коефіцієнта χ за значення μ				
	0,5	0,67	1,0	2,0	$\geq 2,5$
0,25	1,014	1,063	1,166	1,170	1,192
0,5	1,016	1,075	1,214	1,260	1,300
1,0	1,017	1,081	1,252	1,358	1,416
2,0	1,018	1,085	1,275	1,481	1,516
5,0	1,018	1,088	1,292	1,496	1,602
10,0	1,018	1,088	1,298	1,524	1,636
>10	1,018	1,089	1,303	1,552	1,680

Для болтового прикріплення поясу $\chi = 1,0$

Таблиця Е.17 – Коефіцієнт χ для розрахунку напружень $\sigma_{x,cr,ef}$

γ	0,5	1,0	2,0	5,0	≥ 10
χ	1,16	1,22	1,27	1,31	1,35

Для болтового прикріплення поясу $\chi = 1,3$; для поясу з з/б плитою $\chi = 1,35$

Таблиця Е.18 – Коефіцієнт χ для розрахунку напружень $\sigma_{z,cr,ef}$. Для болтового прикріплення поясу або з/б плити.

μ	0,5	0,8	1,0	1,5	$\geq 2,0$
χ	1,07	1,18	1,31	1,52	1,62

Таблиця Е.19 – Коефіцієнт χ для зварного прикріплення поясу до стінки.

γ	Значення коефіцієнта χ за значення μ							
	0,5	0,6	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
2	1,06	1,07	1,13	1,17	1,31	1,32	1,29	1,25
4	1,06	1,07	1,14	1,19	1,38	1,44	1,43	1,39

Таблиця Е.20 – Значення коефіцієнта ε

ξ	Значення коефіцієнта ε за значення μ									
	0,4	0,5	0,6	0,67	0,75	0,80	0,90	1,00	1,50	≥ 2
0	8,41	6,25	5,14	4,75	4,36	4,20	4,04	4,00	4,34	4,00
0,67	10,80	8,00	7,10	6,60	6,10	6,00	5,90	5,80	6,10	5,80
0,80	13,30	9,60	8,30	7,70	7,10	6,90	6,70	6,60	7,10	6,60
1,00	15,10	11,00	9,70	9,00	8,40	8,10	7,90	7,80	8,40	7,80
1,33	18,70	14,20	12,90	12,00	11,00	11,20	11,10	11,00	11,50	11,00
2,00	29,10	25,60	24,10	23,90	24,10	24,40	25,60	25,60	24,10	23,90
3,00	54,30	54,50	58,00	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80	53,80
4,00	95,70	95,70	95,70	95,70	95,70	95,70	95,70	95,70	95,70	95,70

Таблиця Е.21 – Коефіцієнт ς для розрахунку напружень $\sigma_{y,cr,ef}$

μ	Значення коефіцієнта ς за значення ρ											
	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35
0,5	1,70	1,67	1,65	1,63	1,61	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
0,6	1,98	1,93	1,89	1,85	1,82	1,80	1,79	1,78	1,76	1,72	1,71	1,69
0,7	2,23	2,17	2,11	2,06	2,02	1,98	1,96	1,93	1,89	1,82	1,79	1,76
0,8	2,43	2,35	2,28	2,22	2,17	2,12	2,10	2,05	2,01	1,91	1,86	1,82
0,9	2,61	2,51	2,43	2,36	2,30	2,24	2,21	2,16	2,11	1,98	1,92	1,87
1,0	2,74	2,64	2,55	2,47	2,40	2,34	2,31	2,24	2,17	2,04	1,97	1,91
1,2	2,79	2,68	2,59	2,51	2,43	2,37	2,33	2,26	2,19	2,05	1,98	1,91
1,4	2,84	2,73	2,63	2,54	2,46	2,39	2,35	2,28	2,21	2,05	1,98	1,91
1,5	2,86	2,75	2,65	2,56	2,48	2,41	2,37	2,30	2,22	2,07	1,98	1,91
≥ 2	2,86	2,75	2,65	2,55	2,47	2,40	2,36	2,28	2,20	2,05	1,98	1,88

Таблиця Е.22 – Коефіцієнт z для розрахунку напружень $\sigma_{y,cr,ef}$

μ	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	$\geq 2,5$
z	4,88	5,12	5,37	5,59	5,80	6,26	6,87	7,69	8,69	9,86	11,20	15,30

Таблиця Е.23 – Коефіцієнт δ для розрахунку напружень $\sigma_{y,cr,ef}$

Положення пластинки	Значення коефіцієнта δ за значень a/h_{ef}							
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0
що примикає до розтягнутого поясу	1240	1380	1520	1650	1820	2240	3860	6300
Проміжна	920	970	1020	1060	1100	1190	1530	2130

Е.2 Вимоги до ребер

Основні вимоги до поздовжніх ребер наступні:

- ребро має слугувати опорою для утримання відсіків стінки;
- ребро під дією стиску не має втратити стійкість за крутильною формою;
- ребро під дією не має втратити стійкість за згинальною формою.

Е.2.1 Вимоги до жорсткості поздовжнього ребра з утримання відсіків стінки.