

ЗМІСТ

1	Сфера застосування	1
2	Нормативні посилання	1
3	Терміни та визначення понять	4
4	Позначки та скорочення	8
5	Загальні положення	9
6	Матеріали та вироби	10
6.1	Прокат і сталеві вироби	10
6.2	Канатні елементи	10
6.3	Спеціальні вироби	10
7	Розрахунки. Загальні положення	11
7.1	Граничні стани	11
7.2	Класи перерізів	12
7.3	Розрахункові схеми	12
7.4	Коефіцієнти умов роботи	12
7.5	Опори перерізів і елементів	13
8	Розрахунки на міцність	14
8.1	Загальні положення	14
8.2	Розрахунки перерізів класу 1. Розрахунки на пружність	14
8.3	Розрахунки перерізів класу 2. Розрахунки на пружну пластичність	15
8.4	Елементи, піддані зрізу	16
8.5	Елементи, піддані крученню	17
8.6	Елементи, піддані згину і зрізу	18
9	Канатні елементи висячих і вантових мостів	19
10	Розрахунки на стійкість стрижнів і балок	19
11	Розрахунки на стійкість полиць і стінок елементів, не підкріплених ребрами жорсткості	24
12	Розрахункові довжини	28
13	Гранична гнучкість стрижневих елементів	32
14	Розрахунки на витривалість елементів сталевих конструкцій	32
15	Особливості розрахунків несних елементів і з'єднань	35
15.1	Загальні вимоги	35
15.2	Розрахунки поздовжніх в'язей	35
15.3	Розрахунки елементів проїзду	37
15.4	Розрахунки з'єднань	38
16	Конструювання	39
16.1	Загальні вимоги	39
16.2	Конструювання залізничних мостів	39
16.3	Перерізи елементів	41
16.4	Заміна товщини поясних листів. Пакети з двох і більше листів	42
16.5	Ребра жорсткості відкритих балок і коробок	44
16.6	Попередньо напружені прогонові будови	44
16.7	Деталі конструкцій	45
16.8	Конструкція планок і перфорованих листів	47
16.9	Особливості конструкції болто-зварних прогонових будов	47
16.10	Конструкції ортотропних плит, опорних частин і деформаційних швів	49

Додаток А (обов'язковий) Характеристика класів перерізів	50
А.1 Класи перерізів	50
А.2 Клас 1. Пружна робота перерізу	50
А.3 Клас 2. Обмежені пластичні деформації	50
А.4 Клас 3. Необмежені пластичні деформації (пластичний шарнір)	51
Додаток Б (довідковий) Матеріали та вироби	54
Б.1 Загальна характеристика прокату і виробів	54
Б.2 Сталевий листовий, сортовий та фасонний прокат	54
Б.3 Виливки	58
Б.4 Критерії оцінювання прокату для використання в основних несних конструкціях мостів ..	59
Б.5 Матеріали для зварювання	60
Б.6 Кріпильні вироби	63
Додаток В (довідковий) Розрахунки ефективної ширини плит	64
В.1 Ефективні геометричні характеристики перерізів	64
В.2 Коефіцієнти редукції на основі формул	64
В.3 Коефіцієнти редукції на основі просторових розрахунків	66
Додаток Г (довідковий) Кручення	68
Г.1 Вільне кручення	68
Г.2 Стиснене кручення	69
Додаток Д (обов'язковий) Розрахунки на стійкість стрижнів і споруд загалом	70
Д.1 Основні положення	70
Д.2 Коефіцієнти поздовжнього згину в розрахунках на стійкість стрижнів і балок	71
Д.3 Розрахунки приведених відносних ексцентриситетів	74
Д.4 Розрахунки критичних зусиль N_{cr} та M_{cr}	77
Д.5 Максимальні відстані між в'язями для стиснутого поясу	79
Додаток Е (обов'язковий) Розрахунки на місцеву стійкість пластинок, ребер жорсткості й ортотропних плит	80
Е.1 Розрахунки на місцеву стійкість стінок балок, підкріплених ребрами жорсткості	80
Е.2 Вимоги до ребер	93
Е.3 Розрахунки на стійкість ортотропних плит	96
Додаток Ж (обов'язковий) Розрахунки на витривалість	99
Ж.1 Сфера застосування	99
Ж.2 Оцінювання витривалості	99
Ж.3 Розрахунок розмаху напружень	100
Ж.4 Підрахунок кількості циклів навантажень	101
Ж.5 Оцінювання витривалості від сумісної дії автомобільного і рейкового транспорту	102
Ж.6 Таблиці категорій витривалості	103
Ж.7 Графік опору втомі	125
Додаток И (обов'язковий) Коефіцієнти для розрахунків витривалості	127
Додаток К (обов'язковий) З'єднання на болтах, заклепках і пальцях	132
К.1 Загальні положення	132
К.2 Отвори для болтових з'єднань	132
К.3 З'єднання на звичайних болтах	134
К.4 З'єднання на високоміцних болтах	138
К.5 Конструктивні вимоги і розрахунки болтових з'єднань	140
К.6 З'єднання на ін'єкційних болтах	144

К.7 З'єднання на пальцях.....	144
Додаток Л (обов'язковий) Сталеві канатні елементи	148
Л.1 Загальні вимоги	148
Л.2 Основа для проєктування.....	148
Л.3 Жорсткості канатних елементів	151
Л.4 Основа проєктування сидла	151
Л.5 Витривалість	152
Л.6 Групи канатних елементів та анкерні з'єднання.....	152
Додаток М (обов'язковий) Ортотропні плити	156
М.1 Ортотропні плити автопроїзду. Конструктивні вимоги	156
М.2 Ортотропні плити пішохідних мостів. Конструктивні вимоги	158
М.3 Ортотропні плити під рух потягів. Конструктивні вимоги	158
М.4 Розрахунки плит під автомобільний рух.....	160
М.5 Розрахунки плит під рух потягів	166
М.6 Особливості конструювання.....	167
Додаток Н (обов'язковий) Зварні з'єднання	173
Н.1 Розрахунки швів	173
Н.2 Розрахунки швів складених елементів	177
Додаток П (довідковий) Деформаційні шви	178
П.1 Строк експлуатації деформаційного шва	178
П.2 Типи і використання деформаційних швів.....	178
П.3 Розрахунок деформаційних швів і елементів кріплення	180
П.4 Проєктування деформаційного шва.....	182
Додаток Р (обов'язковий) Основні типи мостових опорних частин	183
Р.1 Типи опорних частин.....	183
Р.2 Коефіцієнти тертя для ковзних опорних частин.....	184
Р.3 Коефіцієнти тертя для коткових і балансирних опорних частин	185
Р.4 Закріплення опорних частин	186
Р.5 Основні дані й розрахунки опорних частин	187
Р.6 Ексцентриситети зусиль від опорних частин.....	193
Р.7 Загальні вимоги до опорних частин.....	194
Р.8 Горизонтальні реакції на опори	195
Додаток С (довідковий) Познаки	198
С.1 Познаки розділів основного тексту.....	198
С.2 Познаки, наведені в додатках.....	202
Додаток Т (довідковий) Бібліографія	214

ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ**МОСТИ І ТРУБИ. ПРОЄКТУВАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ****BRIDGES AND CULVERTS. DESIGN OF STEEL STRUCTURES****Чинні від 2025-03-01****1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

1.1 Ці будівельні норми (далі – норми) встановлюють правила проєктування сталевих конструкцій залізничних, автодорожніх, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт мостів і дорожніх труб, пішохідних мостів; підземних переходів, призначених для руху пішоходів і велосипедистів під залізницями, автомобільними дорогами загального користування та вулицями і дорогами міст та інших населених пунктів; прогонових будов та опор розвідних мостів.

1.2 Норми не поширюються на проєктування механізмів розвідних мостів, складних спеціальних виробів, наприклад сферичні опорні частини і модульні деформаційні шви.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цих нормах є посилання на такі документи:

[ДБН А.3.1-5:2016](#) Організація будівельного виробництва

[ДБН В.1.2-15:2009](#) Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи

[ДБН В.2.3-22:20XX](#) Мости і труби. Основні вимоги проєктування

[ДБН В.2.6-198:2014](#) Сталеві конструкції. Норми проєктування

[ДСТУ 2651:2005/ГОСТ 380-2005](#) Сталь вуглецева звичайної якості. Марки

[ДСТУ 8540:2015](#) Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент

[ДСТУ 8541:2015](#) Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови

[ДСТУ 8781:2018](#) Виливки зі сталі. Загальні технічні умови

[ДСТУ 8803:2018](#) Прокат товстолистовий з вуглецевої сталі звичайної якості. Технічні умови

[ДСТУ 8814:2018](#) Транспортні споруди. Мости автодорожні. Терміни та визначення понять

[ДСТУ 8817:2018](#) Прокат конструкційний з нелегованої та легованої сталі для

мостобудування. Технічні умови

[ДСТУ 9054:2020](#) Конструкції автодорожніх мостів сталеві. Технічні вимоги до виготовлення

[ДСТУ 9286:2024](#) Система проєктної документації для будівництва. Правила виконання проєктної та робочої документації металевих будівельних конструкцій

[ДСТУ Б А.2.4-43:2009](#) (ГОСТ 21.502-2007, MOD) Правила виконання проєктної та робочої документації металевих конструкцій

[ДСТУ Б В.2.6-177:2011](#) Конструкції будівельні сталеві. Умовні позначення (марки)

[ДСТУ EN 1090-1: 2014](#) Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 1. Вимоги до оцінки відповідності компонентів конструкцій (EN 1090-1:2009+A1:2011, IDT)

[ДСТУ EN 1090-2:2019](#) (EN 1090-2:2018, IDT) Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій.

Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій

[ДСТУ EN 1090-4:2019](#) (EN 1090-4:2018, IDT) Виконання сталевих та алюмінієвих конструкцій.

Частина 4. Технічні вимоги до холодноформованих сталевих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог і стін

[ДСТУ EN 1337-2:2022](#) (EN 1337-2:2004, IDT) Опорні частини будівельних конструкцій.

Частина 2. Елементи ковзання

[ДСТУ EN 1337-3:2023](#) (EN 1337-3:2005, IDT) Опорні частини будівельних конструкцій. Частина 3. Еластомерні опорні частини

[ДСТУ EN 1337-4:2022](#) (EN 1337-4:2004, IDT; EN 1337-4:2004/AC:2007, IDT) Опорні частини будівельних конструкцій. Частина 4. Коткові опорні частини

[ДСТУ EN 1337-5:2022](#) (EN 1337-5:2005, IDT) Опорні частини будівельних конструкцій. Частина 5. Стаканні опорні частини

[ДСТУ Б EN 1337-6:2015](#) Опорні частини будівельних конструкцій. Частина 6. Балансирні опорні частини (EN 1337-6:2004, IDT)

[ДСТУ EN 1337-7:2022](#) (EN 1337-7:2004, IDT) Опорні частини будівельних конструкцій. Частина 7. Сферичні та циліндричні опорні частини з ПТФЕ

[ДСТУ EN 1337-8:2022](#) (EN 1337-8:2007, IDT) Опорні частини будівельних конструкцій. Частина 8. Напрявні та обмежувальні опорні частини

[ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 Єврокод 3](#). Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1993-1-1:2005, IDT)

[ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8:2011 Єврокод 3](#). Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8. Проектування з'єднань (EN 1993-1-8:2005, IDT)

[ДСТУ-Н Б EN 1993-1-9:2012 Єврокод 3](#). Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-9. Витривалість (EN 1993-1-9:2005, IDT)

[ДСТУ EN 10024:2004](#) Двотаври гарячекатані з ухилом внутрішніх граней полиць. Граничні відхилення за розмірами й формою (EN 10024:1995, IDT)

[ДСТУ EN 10025-1:2007](#) Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 1. Загальні технічні умови постачання (EN 10025-1:2004, IDT)

[ДСТУ EN 10025-2:2022](#) (EN 10025 2:2019, IDT) Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей

[ДСТУ EN 10025-3:2022](#) (EN 10025-3:2019, IDT) Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 3. Технічні умови постачання нормалізованого/нормалізованого прокату зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей

[ДСТУ 10025-4:2022](#) (EN 10025-4:2019, IDT) Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 4. Технічні умови постачання для термомеханічного прокату зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталей

[ДСТУ EN 10025-5:2022](#) (EN 10025 5:2019, IDT) Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 5. Технічні умови постачання конструкційних сталей із підвищеною стійкістю до атмосферної корозії

[ДСТУ EN 10025-6:2022](#) (EN 10025-6:2019, IDT) Гарячекатані вироби з конструкційних сталей. Частина 6. Технічні умови постачання плоских виробів із конструкційних сталей із високою межею текучості в загартованому та відпущеному стані

[ДСТУ EN 10029:2022](#) (EN 10029:2010, IDT) Гарячекатаний сталевий лист завтовшки 3 мм і більше. Допуски на розміри та форму

[ДСТУ EN 10034:2006](#) Двотаври сталеві нормальні та широкополичні з паралельними гранями полиць. Допуски на розміри й форму (EN 10034:1993, IDT)

[ДСТУ EN 10051:2022](#) (EN 10051:2010, IDT) Неперервно гарячекатана смуга та плита/лист, вирізані з широкої смуги нелегованої та легованої сталі. Допуски на розміри та форму

[ДСТУ EN 10055:2006](#) Таври сталеві гарячекатані рівнополичні із заокругленими крайками й основою стінки. Розміри та допуски на розміри та форму (EN 10055:1995, IDT)

[ДСТУ EN 10056-2:2009](#) Кутики рівнополичні та нерівнополичні з конструкційної сталі. Частина 2. Допуски на форму та розміри (EN 10056-2:1993, IDT)

[ДСТУ 10058:2022](#) (EN 10058:2018, IDT) Гарячекатаний плоский сталевий пруток і сталевий широкий плоский прокат загального призначення. Розміри та допуски на форму та розміри

[ДСТУ EN 10059:2014](#) Прутки квадратні гарячекатані загального призначення. Розміри і допуски на форму та розміри (EN 10059:2003, IDT)

[ДСТУ EN 10060:2014](#) Прутки круглі гарячекатані загального призначення. Розміри і допуски на форму та розміри (EN 10060:2003, IDT)

[ДСТУ EN 10061:2006](#) Прокат сталевий гарячекатаний шестигранний загального призначення. Розміри, допуски на розміри та форму (EN 10061:2003, IDT)

[ДСТУ EN 10067:2006](#) Штабобульб гарячекатаний. Розміри та допуски на розміри, форму і масу (EN 10067:1996, IDT)

[ДСТУ EN 10162:2022](#) (EN 10162:2003, IDT) Холоднокатані сталеві профілі. Технічні умови постачання. Допуски на розміри та поперечні перерізи

[ДСТУ EN 10163-2:2016](#) (EN 10163-2:2004, IDT) Лист сталевий гарячекатаний товстий, широка штаба та профілі. Вимоги до якості поверхні під час постачання. Частина 2. Лист і широка штаба

[ДСТУ EN 10163-3:2016](#) Лист сталевий гарячекатаний товстий, широка штаба та профілі. Вимоги до якості поверхні під час постачання. Частина 3. Профілі (EN 10163-3:2004, IDT)

[ДСТУ EN 10210-1:2009](#) Профілі порожнисті гарячого оброблення з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 1. Технічні умови постачання (EN 10210-1:2006, IDT)

[ДСТУ EN 10210-2:2009](#) Профілі порожнисті гарячого оброблення з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 2. Розміри, граничні відхили та характеристики (EN 10210-2:2006, IDT)

[ДСТУ EN 10219-1:2009](#) Профілі порожнисті зварні холодного формування з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 1. Технічні умови постачання (EN 10219-1:2006, IDT)

[ДСТУ EN 10219-2:2009](#) Профілі порожнисті зварні холодного формування з нелегованих і дрібнозернистих сталей для конструкцій. Частина 2. Розміри, граничні відхили та характеристики (EN 10219-2:2006, IDT)

[ДСТУ EN 10213:2016](#) Виливки сталеві для роботи під тиском (EN 10213:2007 + A1:2016, IDT)

[ДСТУ EN 10213-1:2005](#) Виливки сталеві для роботи під тиском. Технічні умови постачання. Частина 1. Загальні положення (EN 10213-1:1995, IDT)

[ДСТУ EN 10279:2009](#) Швелери сталеві гарячекатані. Граничні відхили на розміри, форму та масу (EN 10279:2000, IDT)

[ДСТУ EN 14399](#) Болтові комплекти конструкційні високоміцні для попереднього натягу. Частина 3, 4, 5, 6, 7, 8

[ДСТУ EN 15048](#) Болтові комплекти конструкційні для застосування без попереднього натягу. Частина 1, 2

[ДСТУ EN ISO 2560:2014](#) Матеріали зварювальні. Електроди покриті для ручного дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 2560:2009, IDT)

[ДСТУ EN ISO 14171:2015](#) (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT) Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрот електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація

[ДСТУ EN ISO 14341:2014](#) Матеріали зварювальні. Електродні дроти та наплавлений метал у захисному газі плавким електродом нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14341:2011, IDT)

[ДСТУ EN ISO 17632:2019](#) (EN ISO 17632:2015, IDT; ISO 17632:2015, IDT) Зварювальні матеріали. Дроти порошкові для дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей у захисному газі чи без захисного газу. Класифікація

[ДСТУ EN ISO 18275:2019](#) (EN ISO 18275:2018, IDT; ISO 18275:2018, IDT) Зварювальні матеріали. Електроди для ручного дугового зварювання жароміцних сталей. Класифікація

[ДСТУ EN ISO 26304:2019](#) (EN ISO 26304:2018, IDT; ISO 26304:2017, IDT) Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрот електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом високоміцних сталей. Класифікація

[ДСТУ EN ISO 2063-2:2022](#) (EN ISO 2063-2:2017, IDT; ISO 2063-2:2017, IDT) Напилення термічне. Цинк, алюміній та їхні сплави. Частина 2. Виконання систем антикорозійного захисту

[ДСТУ ISO 4287:2012](#) Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури (ISO 4287:1997, IDT + ISO 4287:1997/Cor 1:1998, IDT + ISO 4287:1997/Cor 2:2005, IDT)

[ДСТУ ISO 8501-1:2015](#) (ISO 8501-1:2007, IDT) Підготовка сталевих поверхонь перед нанесенням фарб і подібної продукції. Візуальне оцінювання чистоти поверхні. Частина 1. Ступені іржавіння та ступені підготовки непофарбованих сталевих поверхонь і сталевих поверхонь після повного видалення попередніх покриттів

[ДСТУ ISO 12944](#) (ISO 12944, IDT) Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами (Частини 1–4)

[ДСТУ ISO 13918:2014](#) Зварювання. Шпильки і керамічні втулки для дугового приварювання шпильок (ISO 13918:2008, IDT)

[ДСТУ EN ISO 1461:2022](#) (EN ISO 1461:2009, IDT; ISO 1461:2009, IDT) Покриття, нанесене методом гарячого цинкування на вироби із чавуну та сталі. Технічні вимоги та методи випробування

Примітка. Чинність норм та стандартів, на які є посилання в цих нормах, перевіряють згідно з офіційними виданнями національного органу стандартизації – каталогом національних нормативних документів і щомісячними інформаційними покажчиками національних стандартів.

Якщо норми або стандарти, на які є посилання, замінені новими або до них внесено зміни, потрібно застосовувати нові норми або стандарти, охоплюючи всі внесені зміни до них.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цих нормах використано терміни, встановлені в:

[ДСТУ 8814](#) – деформаційний шов (*expansion joint*), лист настилу, підферменник, прогонова будова, розвідні мости;

[ДСТУ EN 1337-2](#) – мастило, політетрафторетилен (ПТФЕ);

[ДСТУ EN 1337-3](#) – армована опорна частина, еластомерна опорна частина;

[ДСТУ EN 1337-4](#) – коткова опорна частина;

[ДСТУ EN 1337-5](#) – стаканна опорна частина;

[ДСТУ Б EN 1337-6](#) – балансир, балансирна плита;

[ДСТУ EN 1337-7](#) – матеріал ковзання, сферична опорна частина з ПТФЕ, циліндрична опорна частина з ПТФЕ;

[ДСТУ EN 1337-8](#) – напрямна опорна частина.

Нижче подано терміни, вжиті в цих нормах, та визначення позначених ними понять.

3.1 абсолютний поріг витривалості

Максимальне напруження за циклічного навантаження, під час якого ще не виникають втомні тріщини (втомне руйнування) за необмеженої кількості циклів (понад 100 млн)

3.2 анкер (*socket*)

Постійний замикальний елемент на кінцях каната для передавання зусиль з каната на іншу частину анкерного пристрою

3.3 анкерний пристрій (*anchorage*)

Пристрій, що охоплює всі компоненти і матеріали типу анкерів, опорних плит, пальців,

різьбових шпильок тощо, потрібні для передавання зусиль з канатного елемента на балку, пілон або на інші елементи мосту

3.4 атмосферостійка сталь (*structural steels with improved atmospheric corrosion resistance*)

Сталь з поліпшеною стійкістю до корозії за рахунок утворення стійкої корозійної плівки

3.5 балансирна (тангенціальна) опорна частина

Сталева опорна частина, яка передає контактні зусилля по площі дотику плоскої і криволінійної або обох криволінійних поверхонь. Криволінійна поверхня може бути частиною циліндра або сфери

3.6 вивідні планки

Листові деталі, призначені для подовження шва зовні від кінця шва основного елемента

3.7 виливки (*cast steel products*)

Вироби, отримані литтям із подальшим термічним, зварювальним або механічним обробленням

3.8 вирив

Різновид руйнування вузла внаслідок розриву фасонки або накладки

3.9 високоміцні болти

Болти класів міцності 8.8, 10.9 і більшої міцності з попереднім натягом

3.10 витривалість

Властивість деталей і з'єднань протистояти втомі

3.11 відкритий поперечний переріз

Поперечний переріз, складений із відрізків, які не утворюють замкнений контур

3.12 відносний поріг витривалості

Максимальне напруження за циклічного навантаження, під час якого ще не виникають втомні тріщини (втомне руйнування) за певної кількості циклів (2 млн або 5 млн)

3.13 вільне кручення

Кручення стрижня під дією моменту, коли в його перерізі виникають тільки дотичні напруження, а депланація постійна по довжині стрижня

3.14 всебічно рухома опорна частина

Опорна частина, що уможливорює поворот між двома елементами конструкції та горизонтальне переміщення в обох напрямках

3.15 вуглецева сталь (*carbon (non-alloy) structural steels*)

Сталь з обмеженим умістом вуглецю не більше ніж 0,5 % без легувальних добавок

3.16 гарячекатана сталь (*hot-rolled steel*)

Сталь, яку деформують у розігрітому стані

3.17 граничний стан

Стан, за якого споруда загалом або її частина не задовольняють заданим вимогам

3.18 гребінка

Елемент перекриття консольного деформаційного шва

3.19 група опорних частин

Сукупність однотипних опорних частин, що мають однаковий напрямок переміщень

3.20 демпфер (*damper*)

Пристрій для гасіння енергії коливань

3.21 депланація поперечного перерізу

Переміщення точок плоского поперечного перерізу, що перетворюють його з площини в криву поверхню або в сукупність площин

3.22 деформована схема

Розрахункова схема, у рівняннях рівноваги якої враховують переміщення від початкового незавантаженого стану і зміни в положенні навантажень від деформацій

3.23 довговічність

Здатність споруди тривалий час зберігати робочий стан за відповідної системи технічного обслуговування і прийнятому порядку проведення ремонтів

3.24 допоміжні конструкції мосту

Конструкції, що є частиною проїзної частини, декоративного оформлення, експлуатаційних облаштувань тощо

3.25 дріт (wire)

Індивідуальне високоміцне сталеве волокно круглого або Z-подібного перерізу з діаметром до 8 мм

3.26 дротовий трос (wire rope)

Зібрані разом спіральні пасма, розташовані по спіралі навколо сталевого або волоконного сердечника, як правило, із звиванням у зустрічних напрямках

3.27 залізничні решітчасті ферми

Наскрізна конструкція, схема і складові частини якої показано на рисунку 16.1.

3.28 замкнене ребро

Ребро, яке разом з перерізом листа настилу утворює замкнений контур

3.29 замкнений поперечний переріз

Поперечний переріз, складений з відрізків, які утворюють замкнений контур

3.30 звичайні болти

Болти без попереднього натягу (рекомендовані класи міцності 3.6, 4.6 і 5.6)

3.31 знімна підкладка

Сталева підкладка, яку знімають після зварювання

3.32 зрізні з'єднання

З'єднання, в яких болти працюють на зріз і зминання

3.33 кабель (cable)

Розтягнутий елемент, що містить один чи більше канатних елементів, об'єднаних або розділених спеціальними пристроями по довжині

3.34 канат (strand)

Гнучкий виріб з дроту чи органічних волокон

3.35 канат з паралельних дротів (parallel wire strand)

Пучок прямих паралельних дротів, поєднаних в один елемент

3.36 канат закритого типу (locked coil strand)

Спіральний мостовий канат, у якого дроти зовнішнього шару мають Z-подібний переріз і щільно розташовані

3.37 ковані вироби (forged products)

Сталеві вироби, піддані нагріванню й обробленню тиском зі зміною їхніх механічних властивостей

3.38 конструкційна нормалізована сталь з дрібним зерном (normalized rolled weldable fine grain structural steels)

Низьколегована сталь, піддана нормалізації

3.39 контактні напруження

Напруження, що виникають під час взаємного натискання двох тіл, обмежених криволінійними поверхнями

3.40 корінь шва

Частина шва зварювання, що найбільш віддалена від лицевої поверхні

3.41 легована сталь (alloy steel)

Сталь, у яку додають інші метали (зокрема, нікель, хром, молібден) для надання їй додаткових властивостей. За ступенем легування сталі поділяють на низьколеговані з умістом легувальних елементів менше ніж 2,5 %, середньолеговані з умістом легувальних елементів у межах від 2,5 % до 10 % та високолеговані, де вміст легувальних елементів перевищує 10 %

3.42 матеріал заповнення анкера (socket filler material)

Матеріал, який вводять у рідкому стані в порожнину анкерного стакана для фіксації дротів та герметизації в анкері

3.43 нерухома опорна частина

Опорна частина, що уможливорює поворот між двома елементами конструкції, але запобігає переміщенням в усіх напрямках

3.44 оболонка каната (sheath)

Металева чи пластмасова оболонка, що вкриває поверхню канатного елемента для його захисту від корозії та пошкоджень

3.45 опорна частина (ОЧ)

Пристрій, призначений для передавання навантажень з прогонової будови на опору та забезпечує проєктні переміщення прогонової будови

3.46 ортотропна плита

Плита проїзної частини сталевієї прогонової будови мосту, яка складається з листа настилу та привареного до неї набору поздовжніх і поперечних ребер

3.47 переріз шва

Найменший розмір поперечного перерізу шва зварювання, з урахуванням зони проплавлення

3.48 перехідний шов

Щілина між деформаційним швом та дорожнім покритвом, заповнена герметиком

3.49 поздовжні ребра

Ребра відкритого і замкнутого перерізів, розміщені вздовж осі балки

3.50 позацентрово стиснуті стрижні

Стрижні, в яких сила стиску діє з постійним ексцентриситетом по всій довжині стрижня, еюра моментів прямокутна і поперечні сили відсутні

3.51 полірована аустенітна сталь

Сталь листів ковзання з малим коефіцієнтом тертя за рахунок полірування до дзеркального вигляду (ступінь 1K), високої твердості і незначної зношеності під час переміщення антифрикційного матеріалу

3.52 поперечні ребра (балки)

Ребра (переважно таврового перерізу), розміщені поперек поздовжньої осі балки

3.53 Розрахунки на пружність

Розрахунки, в яких залежність між навантаженнями та деформаціями є лінійною

3.54 розрахунковий строк експлуатації

Період, протягом якого конструкція відповідає проєктним вимогам, у разі виконання правил експлуатації

3.55 розрахункові значення ефектів навантаження

Добуток від множення характеристичних значень на коефіцієнт надійності за навантаженням без урахування (або з урахуванням) динамічних ефектів

3.56 розрахункові значення механічних характеристик прокату і виробів

Частка від ділення характеристичних значень на коефіцієнт надійності за матеріалом

3.57 сідло (saddle)

Ложе для канатів, розташоване на пілоні або стояні, яке дозволяє плавно перегинати канати, змінюючи їхній напрямок

3.58 сідло-сепаратор (splay saddle)

Сідло, що дозволяє розділяти окремі канати (пасма)

3.59 спіральний канат пасма (spiral strand)

Канат з малою кількістю дротів, що лежать по спіралі навколо прямого дроту, як правило, з 7 або 19-дротовою конфігурацією

3.60 спіральний мостовий канат (*spiral bridge strand*)

Канат з великою кількістю дротів, що лежать по спіралі навколо центрального прямого дроту (не менше ніж три шари), із наступними шарами зустрічних напрямків (як правило, але не обов'язково)

3.61 стаканна опорна частина (*pot bearing*)

Опорна частина будівельної конструкції, що складається з еластомерної прокладки (поворотний елемент), поміщеної у циліндр за допомогою пістону з щільним приляганням, та внутрішнього ущільнювача

3.62 стиснене кручення

Кручення стрижня за якого, крім дотичних, виникають напруження нормальні до поверхні перерізу, а деплanaція змінюється по довжині стрижня

3.63 стиснуто-зігнуті стрижні

Стиснуті стрижні, піддані згину поперечним навантаженням

3.64 стяжка (*clamp*)

Пристрій, що охоплює канат через визначені інтервали для утримування форми поперечного перерізу, або для передавання поперечних зусиль на канат (пучок)

3.65 тонкостінні перерізи

Перерізи, в яких товщина стінок як мінімум у 10 разів менша за довжину контурної лінії поперечного перерізу

3.66 траверсна балка

Поперечна балка основних конструкцій мосту або модульного деформаційного шва, на яку спираються модулі (рейки й еластомерне заповнення)

3.67 утома (*fatigue of materials*)

Деградація механічних властивостей матеріалу деталей і з'єднань через накопичення пошкоджень під дією циклічних навантажень і появу втомних тріщин

3.68 фасонка

Листовий елемент конструкції, до якого приєднують інші елементи

3.69 фланцеве з'єднання

Роз'ємне болтове з'єднання металевих стрижневих (переважно трубчастих) елементів за допомогою фланців – товстостінних пластинчастих деталей з отворами, які закріплюють (приварюють) на кінцях з'єднуваних елементів, повністю їх перетинаючи

3.70 фрикційне з'єднання

Роз'ємне болтове з'єднання, в якому зусилля передаються тертям, а високоміцні болти з'єднання призначені лише для стиснення шорстких поверхонь і працюють тільки на розтяг

3.71 характеристичні (нормативні) значення

Значення, що характеризують розрахунковий параметр з певною ймовірністю, і їх наведено в нормативних документах. Розрізняють характеристичні значення ефектів навантажень і ефектів опору

3.72 центрально стиснуті стрижні

Стрижні, в яких рівнодійна сил стиску перетинає поперечний переріз у його геометричному центрі

3.73 штабове ребро

Плоске ребро постійної товщини.

4 ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

CEV – вуглецевий еквівалент

EXC (*execution class*) – клас виконання

HV – твердість металу швів за шкалою Віккерса

ЕАОЧ – еластомерні армовані опорні частини

КМ – креслення металевих конструкцій

МСЕ – метод скінченних елементів

МСМ (MSM) – Маурер слизький матеріал (Maurer Sliding Material)

ОЧ – опорна частина

ПВ – висока площинність

ПО – особливо висока площинність

ПТФЕ – політетрафторетилен (матеріал ковзання)

Познаки за розділами та додатками наведено в додатку С.

5 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

5.1 Ці норми встановлюють вимоги, за якими проєктують сталеві конструкції залізничних і автодорожніх мостів та дорожніх труб, пішохідних мостів, підземних переходів, призначених для руху пішоходів і велосипедистів під залізницями, автомобільними дорогами загального користування, вулицями і дорогами міст та інших населених пунктів, прогонових будов та опор розвідних мостів, що відповідають своєму функціональному призначенню, та гарантують безпечну експлуатацію протягом розрахункового строку експлуатації.

5.2 Проєктують сталеві конструкції з дотриманням вимог [ДБН В.2.3-22](#). Зусилля в елементах розрахункових схем визначають від навантажень згідно з [ДБН В.1.2-15](#). Виготовляють і монтують конструкції відповідно до [ДБН А.3.1-5](#), [ДСТУ 9054](#), [ДСТУ EN 1090-1](#), [ДСТУ EN 1090-2](#) та [ДСТУ EN 1090-4](#). Клас виконання несних конструкцій приймають EXC-3 для мостів усіх призначень. Для допоміжних конструкцій мостів приймають EXC-2.

5.3 Під час проєктування сталевих конструкцій мостів рекомендовано:

- приймати таку статичну схему, для якої відмова одного з елементів не призведе до руйнації споруди загалом;
- забезпечити можливість оглядання і ремонту елементів/вузлів споруди неперервно під час експлуатації;
- обирати конструкції з більшим ресурсом утоми.

5.4 Безвідмовність роботи елементів мосту протягом розрахункового строку експлуатації вважаються забезпеченою за умови:

- належного виготовлення конструкцій, їх монтування і відповідного контролю на всіх етапах спорудження;
- виконання розрахунків витривалості, що підтверджують розрахунковий строк експлуатації без втомних тріщин;
- створення умов для заміни елементів, які потрібно з часом замінювати;
- оцінки в проєкті аварійних ситуацій;
- утворення спеціального захисту для несних конструкцій, розташованих поруч з проїздом, де наїзд транспорту вірогідний (наприклад, посиленої бар'єрної огорожі);
- захисту від корозії елементів і з'єднань. Фрикційні поверхні з'єднань на високоміцних болтах потребують захисту від будь-яких забруднень;
- забезпечення доступу для оглядання і ремонту для підтримання проєктного технічного стану (елементи, які не можна оглянути і пофарбувати в процесі експлуатації (наприклад, внутрішній простір замкнених елементів ферм, замкнених ребер плит тощо), мають бути загерметизовані від проникнення вологи і кисню в середину, а у місцях можливого накопичення і застою води слід передбачати отвори діаметром від 20 мм до 25 мм);
- захисту сталевих ортотропних плит проїзду водонепроникним покриттям, що забезпечує гарантований зв'язок плити з покриттям;
- збільшення товщини прокату, застосовування біметалевого прокату або спеціального антикорозійного захисту для елементів, розташованих у ґрунті або у воді (наприклад, стінок труб фундаментів опор) за неможливості забезпечення їхньої нормальної експлуатації;

– збільшення товщини елементів ортотропної плити, параметри яких знайдено за критеріями міцності, стійкості та витривалості для забезпечення необхідної довговічності проїзної частини автодорожніх мостів.

5.5 Креслення сталевих конструкцій мостів усіх призначень необхідно виконувати відповідно до вимог [ДСТУ 9286](#).

5.6 Навантаження для проектування та розрахунку міцності і стійкості сталевих водопропускних та дорожніх труб приймають згідно з [ДБН В.1.2-15](#).

5.7 Розрахунок міцності та стійкості сталевих конструкцій водопропускних та дорожніх труб, а також їхніх елементів і з'єднань виконують відповідно до [ДБН В.2.6-198](#).

5.8 Товщину засипки над трубами приймають за розрахунком, але не менше ніж вказано в [ДБН В.2.3-22](#).

5.9 Систему антикорозійного захисту мостових конструкцій із сталі визначають відповідно до [ДСТУ ISO 12944](#), [ДСТУ EN ISO 1461](#), [ДСТУ EN ISO 2063-2](#), [ДСТУ EN 1090-1](#), [ДСТУ EN 1090-2](#).

6 МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

6.1 Прокат і сталеві вироби

6.1.1 Для несних та допоміжних конструкцій мостів рекомендовано застосовувати матеріали та вироби, наведені в додатку Б.

6.1.2 Базовими механічними характеристиками прокату і виробів, які використовують для розрахунків і надають у нормативних документах, є:

R_{yt} – опір текучості; приймають як характеристичне (нормативне) значення;

R_{ut} – тимчасовий опір; приймають як характеристичне (нормативне) значення.

6.1.3 У розрахунках показники матеріалу для конструкційних сталей потрібно приймати такими:

– модуль пружності $E = 210\,000$ МПа;

– модуль зсуву $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \approx 81\,000$ МПа;

– коефіцієнт Пуассона у пружній стадії $\nu = 0,3$;

– коефіцієнт лінійного температурного розширення $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

Примітка. Під час розрахунку впливів на сталезалізобетонну конструкцію від різниці температур залізобетонної плити і сталеві балки коефіцієнт лінійного температурного розширення приймають таким, що дорівнює $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

6.2 Канатні елементи

6.2.1 Розрахунки канатних елементів і технічні умови виготовлення мають відповідати наданим у додатку Л.

6.2.2 Розтягнуті елементи з суцільних стрижнів із зварними або різьбовими закріпленнями можна проектувати за цими нормами.

6.3 Спеціальні вироби

6.3.1 До спеціальних виробів належать опорні частини і деформаційні шви.

6.3.2 Розрахунки опорних частин, деформаційних швів і технічні умови виготовлення мають відповідати наданим у додатках П і Р.

6.3.3 Ці норми поширюються на проектування коткових і балансирних (тангенціальних) опорних частин та деформаційних швів, крім деформаційних швів модульних конструкцій.

7 РОЗРАХУНКИ. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

7.1 Граничні стани

7.1.1 Розрахунки сталевих конструкцій ґрунтуються на двох групах граничних станів.

7.1.2 Розрахунки за першою групою граничних станів або за станом аварійного руйнування конструкції розподілено на:

- перевірку міцності;
- перевірку стійкості форми;
- перевірку витривалості;
- перевірку стійкості положення.

Під час розрахунків сталевих конструкцій за другою групою граничних станів або за експлуатаційною придатністю оцінюють такі параметри:

- деформації основних конструкцій (прогинів, кутів повороту);
- рівень коливань (частоти й амплітуди);
- стан втомних тріщин у другорядних (неосновних) елементах конструкції;
- стійкість другорядних (неосновних) елементів конструкції;
- стан корозії елементів і з'єднань.

7.1.3 Експлуатаційну надійність мосту має бути забезпечено виконанням таких вимог:

а) обмеження пружних прогинів згідно з [ДБН В.2.3-22](#) для запобігання:

- дискомфорту пішоходів та пасажирів транспортних засобів;
- динамічних впливів на споруду.

б) обмеження коливань для запобігання:

- дискомфорту пішоходів та пасажирів транспортних засобів;
- появи резонансних явищ;
- появи надмірного шуму.

в) обмеження дефектів проїзду для запобігання динамічних впливів оцінюють розрахунками витривалості елементів плит проїзду.

Обмеження експлуатаційного граничного стану приймають згідно з чинними нормами. Додаткові обмеження залежно від конструктивної схеми мосту і його призначення може бути встановлено в завданні на проектування.

Примітка. Аеропружні явища потрібно досліджувати для мостів комбінованих систем, вантових, висячих, аркових, рамних, та мостів, у яких період власних коливань перевищує 1 секунду. Оцінюють коливання за частотами, амплітудами та прискореннями.

7.1.4 Для кожного граничного стану елемента, перерізу, з'єднання і споруди загалом має бути виконано умову:

$$E_d / R_d \leq m, \quad (7.1)$$

де E_d – функція навантаження (значення розрахункового узагальненого впливу – зусилля, деформації тощо). Значення E_d – це добуток від множення характеристичного значення E_k на коефіцієнти надійності за навантаженням γ_f , на динамічні коефіцієнти $(1 + \mu)$, а також на коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_r ;

R_d – функція опору (значення розрахункового узагальненого опору перерізу або з'єднання).

Значення R_d – це частка від ділення його характеристичного значення R_k на коефіцієнт надійності γ_M ;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1);

γ_M – коефіцієнт надійності (враховує відхил від номінальних значень механічних властивостей матеріалу і геометричних параметрів).

7.2 Класи перерізів

7.2.1 Перевірку перерізів елементів виконують за класами перерізів залежно від появи пластичних деформацій, характеру навантажень і виду розрахунків (див. додаток А).

7.2.2 Під час виконання всіх розрахунків опір локальній втраті стійкості елементів перерізу має бути забезпечено для всіх класів перерізів.

7.3 Розрахункові схеми

7.3.1 Розрахункові схеми у перерізах, в яких потрібно знаходити поздовжні і поперечні сили, згинальні моменти і, за потреби, крутильні моменти, будують на основі стрижневих елементів. На основі цих зусиль перевіряють міцність поперечних перерізів стрижня.

Розміри перерізів не беруть до уваги, перевірка міцності для перерізу балки жорсткості мосту загалом і перерізу прокатного виробу принципово не відрізняються.

Розрахункові схеми, складені з нестрижневих скінченних елементів, розглядають як допоміжні. Їх використовують для оцінки нерівномірності розподілу напружень у місцях різкої зміни форми елементів або інтенсивності навантажень.

7.3.2 Під час визначення зусиль в елементах конструкцій навантаження впливи та відповідні коефіцієнти приймають згідно з [ДБН В.1.2-15](#), а для розрахунків витривалості – згідно з додатком Ж.

Зусилля, напруження та деформації в елементах конструкції знаходять із припущення пружної роботи конструкції або елемента, якщо це не призводить до похибки більше ніж на 5 %. Урахування геометричної нелінійності для монтажних стадій спорудження вантових і висячих мостів є обов'язковим.

Для врахування перерозподілу внутрішніх зусиль від пластичних деформацій матеріалу розрахунок потрібно виконувати у фізично нелінійній постановці задачі.

7.3.3 Для розрахунку решітчастих ферм рекомендовано використовувати розрахункові схеми з жорстким приєднанням стрижнів до вузлів або до вузлових вставок. Допускається приймати з'єднання шарнірним, якщо за такого припущення конструкція зберігає незмінюваність. Це не стосується поясів головних ферм у місцях приєднання підвісок і елементів головних ферм із відношенням висоти перерізу до довжини елемента більшим ніж 1:15. Для них жорстке приєднання є обов'язковим.

7.3.4 За вісь стрижневих елементів приймають лінію, що з'єднує центри ваги їх перерізів. Під час визначення положення центру ваги перерізу ослаблення його отворами болтових з'єднань не враховують, а ослаблення перфорацією приймають постійним по всій довжині елемента.

7.3.5 Ексцентриситет приєднання стрижневого елемента до вузла можна не враховувати, якщо він не перевищує:

– для двотаврових та П-подібних, коробчастих і елементів з двох швелерів 1,5 % висоти перерізу;

– для Т та Н-подібних елементів 0,7 % висоти перерізу.

В елементах кутикових в'язей з болтовими з'єднаннями, центрованих за рисками, найближчих до обушка, ексцентриситет можна не враховувати.

7.3.6 Розраховуючи міцність і витривалість конструкцій, потрібно застосовувати геометричні характеристики перерізів – нетто, а для розрахунків стійкості – бруто.

7.4 Коефіцієнти умов роботи

7.4.1 Коефіцієнти умов роботи для елементів і з'єднань приймають згідно з таблицею 7.1.

Таблиця 7.1 – Коефіцієнти умов роботи для елементів і з'єднань

Стадія роботи	Типи мостів	Коефіцієнт умов роботи, m
Експлуатація	Залізничні мости і мости, суміщені з залізницею; пішохідні мости	0,9
	Усі інші типи мостів	1,0
Монтаж і транспортування	Для всіх мостів	1,0

Примітка 1. Залізничними мостами тут названі мости, розраховані на навантаження СК відповідно до ДБН В.1.2-15.

Примітка 2. Мости під потяги метро або інший міський рейковий транспорт (крім електропоїздів) не відносяться до залізничних мостів.

7.4.2 Для елементів суміщених мостів із залізничним рухом, де вплив залізничного транспорту менший за 50 % від сумарних рухомих навантажень, коефіцієнт m допускається приймати таким, що дорівнює 0,95.

7.5 Опори перерізів і елементів

7.5.1 Характеристичні значення опорів перерізів і з'єднань з прокату, лиття і поковок для різних типів напруженого стану надано в таблиці 7.2.

7.5.2 Розрахункові опори приймають як частку від ділення характеристичних значень опорів для різних типів навантажень на коефіцієнти надійності, значення яких наведено в таблиці 7.3.

7.5.3 Коефіцієнти надійності опору надано залежно від типів розрахунків, від різновиду елементів і з'єднань. Коефіцієнти, наведені в таблиці 7.3, характеризують похибки в оцінюванні опорів матеріалів і з'єднань, спричинені механічними властивостями матеріалу, розмірами перерізів, недосконалістю розрахункових моделей тощо.

Таблиця 7.2 – Характеристичні значення опорів перерізів і з'єднань

Напружений стан перерізу або елементів з'єднань	Характеристичні значення опорів
Розтяг, стиск і згин перерізів	$R_{y,k} = R_{ym}$
Зріз перерізів	$R_{s,k} = 0,58 \cdot R_{ym}$
Зминання плоскої поверхні (з підгонкою)	$R_{p,k} = R_{um}$
Зминання циліндричних поверхонь у шарнірах (цапфах) опорних частин за щільного дотику	$R_{lp,k} = 0,5 \cdot R_{um}$
Болтові з'єднання	Опір зминанню, зрізу і розтягу приймають відповідно до додатка К
Провушини	Опір зминанню циліндричних поверхонь пальця і провушини, опір зрізу пальця, опір розриву і зрізу провушини приймають відповідно до додатка К
Коткові опорні частини	Опір зминанню на контакті циліндричної і сферичної поверхні з плоскою поверхнею або двох сферичних поверхонь між собою приймають відповідно до додатка Р
Стикові шви: – стиск-розтяг, – зріз і згин.	Приймають як для основного металу відповідно до додатка Н
Кутові шви: – зріз умовний по металу шва – зріз умовний по металу сплавлення	Приймають відповідно до додатка Н $R_{wf} = 0,55 \cdot R_{w,um}$ $R_{w,z} = 0,45 \cdot R_{um}$
R_{ym} – опір текучості, напруження, за яких залишкові деформації становлять 0,2 % із забезпеченістю 95 %. R_{um} – тимчасовий опір, напруження, яке дорівнює відношенню найбільшого навантаження, що передуює руйнуванню, до початкової площі зразка. $R_{w,um}$ – тимчасовий опір наплавленого металу шва.	

Таблиця 7.3 – Значення коефіцієнтів надійності опору

Типи розрахунків	Позначення	Значення
Опір згину, стиску і розтягу, охоплюючи місцеву втрату стійкості за пружної і пластичної роботи елементів з вуглецевої і низьколегованої сталі	γ_{M0}	1,0
Опір втраті стійкості під час розрахунків на стійкість	γ_{M1}	1,1
Опір прокатних розтягнутих елементів розриву	γ_{M2}	1,25
Опір елементів і з'єднань		
Опір канатних розтягнутих елементів розриву	γ_{M2}	1,6
Опір з'єднань на болтах	γ_{M2}	1,25
Опір з'єднань на заклепках		
Опір з'єднань на пальцях		
Опір зварних з'єднань		
Опір лиття і поковок		
Опір листів зминанню		
Опір на зсув для фрикційних з'єднань у граничному стані за міцністю (категорія С згідно з ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8)	γ_{M3}	Див. К
Опір на зсув для фрикційних з'єднань у граничному стані за експлуатаційною придатністю (категорія В згідно з ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8)	$\gamma_{M3,ser}$	1,1
Опір на зминання ін'єкційних болтів	γ_{M4}	1,0
Опір вузлів з пустотних профілів решічастих ферм	γ_{M5}	1,0
Опір пальців у граничному стані за експлуатаційною придатністю	$\gamma_{M6,ser}$	1,0
Попереднє напруження високоміцних болтів	γ_{M7}	1,1

8 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

8.1 Загальні положення

Розрахунки на міцність виконують для всіх без винятку конструкцій і з'єднань, приймаючи граничний стан відповідно до розділу 7.1. Розрахунки на міцність умовно розподілено за напруженим станом: на розтяг і стиск, згин і зріз. За потреби виконують розрахунки на кручення.

8.2 Розрахунки перерізів класу 1. Розрахунки на пружність

8.2.1 Перевірку міцності під час виконання пружних розрахунків за критерієм обмеження величини еквівалентних напружень для критичної точки перерізу допускається застосовувати без обмежень за формулою:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \leq \frac{m}{\gamma_{M0}} \cdot R_{ym}, \quad (8.1)$$

де σ_x , σ_y і τ_{xy} – нормальні напруження в критичній точці вздовж осей x , y і дотичні напруження від дії розрахункових навантажень;

m – коефіцієнт умов роботи, приймають за таблицею 7.1;

R_{ym} – опір текучості (характеристичне значення);

γ_{M0} – коефіцієнти надійності, приймають за таблицею 7.3.

Перевірка за формулою (8.1) має певні запаси міцності і не враховує розвиток обмежених пластичних деформацій. Перевірку виконують, якщо неможливо виконати перевірку міцності на основі прикладених у перерізі зусиль N_{Ed} , M_{Ed} , Q_{Ed} .

8.2.2 Розрахунки на пружність перерізів елементів, підданих дії поздовжньої сили і згину в двох площинах відносно осей x і y , виконують за формулою:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Ed}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq m, \quad (8.2)$$

де N_{Ed} , $M_{x,Ed}$ і $M_{y,Ed}$ – діючі в перерізі розрахункова поздовжня сила і згинальні моменти відносно осей x і y .

N_{Rd} , $M_{x,Rd}$ і $M_{y,Rd}$ – розрахункові опори перерізу поздовжній силі і згину відносно осей x і y . Опори визначають за формулами:

$$N_{Rd} = \frac{R_{yn} \cdot A_{eff}}{\gamma_{M0}}, \quad (8.3)$$

$$M_{Rd,x} = \frac{R_{yn} \cdot W_{eff,x}}{\gamma_{M0}}, \quad (8.4)$$

$$M_{Rd,y} = \frac{R_{yn} \cdot W_{eff,y}}{\gamma_{M0}}. \quad (8.5)$$

де A_{eff} , $W_{eff,x}$ і $W_{eff,y}$ – ефективні: площа і моменти опору перерізу відносно осей x і y відповідно.

Ефективні геометричні характеристики потрібно знаходити для перерізів із широкими полицями, де є нерівномірність розподілу нормальних напружень по ширині. Їх знаходять з використанням *ефективної* ширини плит b_{eff} згідно з додатком В.

8.2.3 Формулу (8.2) використовують і тоді, коли один або два з членів навантажень N_{Ed} , $M_{x,Ed}$ і $M_{y,Ed}$ дорівнюють нулю.

8.2.4 Для перерізів з отворами розрахунковий опір N_{Rd} розтягу потрібно приймати меншим із двох значень за формулами (8.6) і (8.7), а опір стиску визначати за формулою (8.6):

$$N_{y,Rd} = \frac{A_n \cdot R_{yn}}{\gamma_{M0}}, \quad (8.6)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_n \cdot R_{un}}{\gamma_{M2}}. \quad (8.7)$$

де R_{yn} , і R_{un} – опір текучості і тимчасовий опір (характеристичні значення);

γ_{M0} і γ_{M2} – коефіцієнти надійності, за таблицею 7.3;

A_n – площа перерізу, нетто.

8.2.5 Розтягнуті елементи мостів та підвісних систем з прокату (не тільки округлої форми) потрібно відносити до розтягнутих елементів групи А і розраховувати згідно з додатком Л.

8.3 Розрахунки перерізів класу 2. Розрахунки на пружну пластичність

8.3.1 Розрахунки на міцність позацентрово стиснутих і стиснуто-зігнутих, позацентрово розтягнутих і розтягнуто-зігнутих стрижнів під час згину у двох головних площинах виконують за формулою:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{x,Ed}}{\kappa_x \cdot W_{x,eff}} + \frac{M_{y,Ed}}{\kappa_y \cdot W_{y,eff}} \leq \frac{m \cdot R_{yn}}{\gamma_{M0}}, \quad (8.8)$$

де A_{eff} , $W_{x,eff}$ і $W_{y,eff}$ – ефективні площа та моменти опору відносно головних осей x і y .

Характеристики знаходять з використанням коефіцієнтів редукції β для перерізів у пружнопластичному стані за додатком В.3.

κ_x і κ_y – коефіцієнти збільшення опору перерізів за рахунок появи обмежених пластичних деформацій, відносно головних осей x і y .

8.3.2 Коефіцієнт κ для двотаврових, коробчастих і таврових перерізів залежно від відношення площі меншого поясу $A_{f,min}$ до площі стінок A_w допускається приймати за формулою:

$$\kappa = 1,2 \cdot \left[1 - 0,15 \cdot \left(\frac{A_{f,min}}{A_w} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \geq 1,0 \quad (8.9)$$

Для інших перерізів:

- для кільцевих $\kappa = 1,1$;
- для прямокутних суцільних $\kappa = 1,2$;
- для Н-подібних $\kappa = 1,2$;

Для таврового перерізу $A_{f,min} = 0$.

8.3.3 Під час розрахунків з урахуванням появи пластичних деформацій, для елементів, що сприймають зусилля різних знаків, обмежують розмах напружень за пружних розрахунків за формулою:

$$\sqrt{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})^2 - 3 \cdot (\tau_1 - \tau_2)^2} \leq \frac{1,8 \cdot m \cdot R_{ym}}{\gamma_{Mo}} \quad (8.10)$$

де $\sigma_{\max}$ і $\sigma_{\min}$ – розрахункові максимальні і мінімальні (зі своїми знаками) нормальні напруження в точці, що перевіряють, обчислено з припущення пружної роботи матеріалу;

τ_1 і τ_2 – дотичні напруження в точці, що перевіряють (з урахуванням їхніх знаків), обчислено відповідно від тих самих навантажень, що і $\sigma_{\max}$ та $\sigma_{\min}$.

У разі невиконання умови (8.10) елемент розраховують тільки за умови пружної роботи перерізу.

8.4 Елементи, піддані зрізу

8.4.1 Значення дотичних напружень τ для перерізів класу 1 під час пружних розрахунків мають задовольняти умову:

$$\tau = \frac{Q_{Ed} \cdot S_x}{I_x \cdot t} \leq \frac{m}{\gamma_{Mo}} \cdot \frac{R_{ym}}{\sqrt{3}} \quad (8.11)$$

де Q_{Ed} – розрахункова поперечна сила в перерізі;

S_x – статичний момент частини, що зазнає зсуву;

I_x – момент інерції перерізу;

t – товщина стінки.

За наявності ослаблення стінки отворами болтових з'єднань замість товщини стінки t у формулу (8.11) підставляють значення:

$$t_{ef} = t \cdot \frac{a - d}{a} \quad (8.12)$$

де a – крок болтів; d – діаметр отвору.

8.4.2 Для перерізів класу 2 розрахункова величина зрізу Q_{Ed} для всіх типів перерізів має задовольняти умову:

$$Q_{Ed} \leq Q_{pl,Rd} \quad (8.13)$$

де $Q_{pl,Rd}$ – розрахунковий пластичний опір зрізу, що оцінюють з прямокутної епюри напружень у стінках:

$$Q_{pl,Rd} = \frac{m}{\gamma_{M0}} \cdot A_Q \cdot \frac{R_{yn}}{\sqrt{3}}, \quad (8.14)$$

де A_Q – площа зрізу, яка дорівнює:

– для перерізів із стінками – площі стінок: $A_Q = h_w \cdot t_w$;

– для труб: $A_Q = \frac{2 \cdot A}{\pi}$.

де A – площа поперечного перерізу;

h_w – висота стінки;

t_w – товщина стінки.

8.5 Елементи, піддані крученню

8.5.1 У відкритих перерізах впливами вільного кручення можна нехтувати (через малість напружень), а в замкнених перерізах допускається не враховувати вплив стисненого кручення. Тобто рекомендується виконувати розрахунки елементів відкритого перерізу на стиснене кручення, а елементів замкнутого перерізу – на вільне кручення.

8.5.2 Одночасний вплив вільного і стисненого кручення допускається не враховувати.

8.5.3 Напружений стан у разі вільного кручення характеризують появою дотичних напружень, які визначають за формулою:

$$\tau = \frac{M_t}{W_t}, \quad (8.15)$$

де M_t – діючий крутильний момент у перерізі;

W_t – крутильний момент опору (знаходити згідно з додатком Г).

8.5.4 Напружений стан за стисненого кручення характеризують появою нормальних напружень за формулою:

$$\sigma = \frac{B_\omega}{I_\omega} \cdot \omega = \frac{B_\omega}{W_\omega}, \quad (8.16)$$

де B_ω – бімомент;

ω – секторіальна координата;

I_ω – секторіальний момент інерції;

$W_\omega = \frac{I_\omega}{\omega}$ – секторіальний момент опору.

8.5.5 Загальний напружений стан елемента, що підданий впливу поздовжньої сили, згинальних моментів і стисненому крученню, визначають за формулою для нормальних напружень:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot x + \frac{B_\omega}{I_\omega} \cdot \omega, \quad (8.17)$$

де N , M_x і M_y – поздовжня сила і згинальні моменти відносно осей x і y ;

A , I_x і I_y – площа і моменти інерції відносно осей x і y ;

x , y – координати для точки відносно головних осей;

ω – секторіальна площа (координата).

Останній член $\frac{B_{\omega}}{I_{\omega}} \cdot \omega$ у формулі (8.17) відповідає за кількість нормальних напружень, що

виникають за стисненого кручення.

У перерізах стрижня, крім нормальних напружень, можуть виникнути і дотичні, обчислювані за формулою:

$$\tau_{\omega} = -\frac{M_{\omega} \cdot S_{\omega}}{I_{\omega} \cdot \delta}, \quad (8.18)$$

де M_{ω} – момент за стисненого кручення;

I_{ω} – секторіальний момент інерції;

S_{ω} – секторіальний статичний момент;

δ – товщина стінки відкритого профілю.

Момент M_{ω} та бімомент B_{ω} визначають з дотриманням положень теорії тонкостінних стрижнів.

8.6 Елементи, піддані згину і зрізу

8.6.1 Для перерізів класу 1 перевірку міцності для критичної точки перерізу виконують за формулою (8.1).

8.6.2 Для перерізів класу 2 у разі дії дотичних напружень менших ніж 50 % від граничних, впливом зрізу на опір згину можна нехтувати. Якщо дотичні напруження перевищують 50 % від граничних $\left(\tau \geq 0,5 \cdot \frac{R_{yn}}{\sqrt{3}} \right)$, під час розрахунку опору перерізів на згин потрібно вводити

зменшувальний коефіцієнт $(1 - \rho)$ до розрахункового опору текучості і користуватися формулою:

$$m \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_{MO}} \cdot (1 - \rho), \quad (8.19)$$

де $\rho = \left(2 \cdot \frac{Q_{Ed}}{Q_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$ – для зрізу;

$\rho = \left(2 \cdot \frac{Q_{Ed}}{Q_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$ – для кручення;

$Q_{pl,Rd}$ знаходять за формулою (8.14);

$Q_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot R_{yn} / \sqrt{3}}} \cdot Q_{pl,Rd}$ – для двотаврів;

$Q_{pl,T,Rd} = \left[\sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \cdot R_{yn} / \sqrt{3}}} - \frac{\tau_{\omega,Ed}}{1,25 \cdot R_{yn} / \sqrt{3}} \right] \cdot Q_{pl,Rd}$ – для швелерів;

$Q_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{R_{yn} / \sqrt{3}}} \cdot Q_{pl,Rd}$ – для замкнених перерізів,

де $\tau_{t,Ed}$ і $\tau_{\omega,Ed}$ розрахункові дотичні напруження у разі вільного і стисненого кручення за формулами (8.15) і (8.18).

8.6.3 Для перерізів класу 3 за умови дії розрахункової сили зрізу, більшої ніж 50 % від сили опору, розрахунковий опір на згин зменшують, відповідно до А.4.6 додатка А.

9 КАНАТНІ ЕЛЕМЕНТИ ВИСЯЧИХ І ВАНТОВИХ МОСТІВ

9.1 Розрахунки на міцність сталевих канатів виконують відповідно до додатка Л.

9.2 Поздовжню повзучість $\varepsilon_{cr,x}$ сталевих спіральних і закритих канатів потрібно приймати за даними виробника, але не меншу ніж 0,15 мм/м. Для зменшення величини $\varepsilon_{cr,x}$ можна виконати попереднє циклічне навантаження канатів (5 циклів від нуля до рівня нормативних постійних навантажень).

9.3 Поперечну повзучість $\varepsilon_{cr,y}$ сталевих спіральних і закритих канатів потрібно приймати за даними виробника канатів.

9.4 Для канатів з паралельними дротами повзучість можна не враховувати.

10 РОЗРАХУНКИ НА СТІЙКІСТЬ СТРИЖНІВ І БАЛОК

10.1 Розрахунки на стійкість виконують у межах пружності у припущенні лінійної залежності між зусиллями і деформаціями сталі. Розрізняють плоску форму втрати стійкості, яку характеризує згин в одній площині, і згинально-крутильну форму, яку характеризує згин із скручуванням.

10.2 Плоску форму втрати стійкості суцільностінчастих елементів замкнутого і відкритого перерізів, підданих центральному стиску, стиску зі згином і позацентровому стиску зі згином у площині найбільшої гнучкості, перевіряють з використанням нерівності:

$$\frac{N_{Ed}}{\varphi \cdot N_{Rd}} \leq m, \quad (10.1)$$

де N_{Ed} – розрахункова сила стиску;

$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}$ – розрахунковий опір перерізу;

$N_{Rk} = A \cdot R_{yk}$ – характеристичний опір перерізу;

A – площа перерізу елемента, брутто;

R_{yk} – характеристичний опір текучості сталі;

φ – коефіцієнт поздовжнього згину, який визначають за розділом Д.2 додатка Д залежно від гнучкості елемента λ і приведенного відносного ексцентриситету e_{ef} ;

$\gamma_{M1} = 1,1$ – коефіцієнт надійності для розрахунків на стійкість;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).

Гнучкість елемента λ визначають за формулою:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i}, \quad (10.2)$$

де l_{ef} – розрахункова або ефективна довжина елемента (див. розділ 12);

i – радіус інерції перерізу відносно осі найбільшої гнучкості.

Приведений відносний ексцентриситет e_{ef} визначають за таблицею 10.1.

Таблиця 10.1 – Визначення ексцентриситетів

Формула	Визначення	Пояснення
$e = M/N$	Розрахунковий ексцентриситет	Знаходять як частку від ділення моменту на силу стиску. M – момент знаходять згідно з 10.3
$e_{rel} = e / \rho$	Відносний ексцентриситет	Дорівнює розрахунковому ексцентриситету, поділеному на ядрову відстань $\rho = W_c / A$ (частка від ділення моменту опору найбільш стиснутого волокна на площу перерізу). Інакше, знаходять як частку від ділення напружень стиску від дії моменту на напруження стиску від дії сили $e_{rel} = \sigma_M / \sigma_N$

Кінець Таблиці 10.1

Формула	Визначення	Пояснення
η	Коефіцієнт форми перерізу	Знаходять згідно з розділом Д.3 додатка Д
$e_{ef} = \eta \cdot e_{rel}$	Приведений відносний ексцентриситет	Враховує напружений стан, геометричні характеристики і чутливість перерізу до згину

10.3 Розрахункові значення поздовжньої сили N і згинального моменту M в елементі приймають для одного й того самого сполучення навантажень. Значення M потрібно приймати таким, що дорівнює:

- для елементів постійного перерізу – найбільшому моменту в межах довжини елемента;
- для елементів з одним защемленим, а іншим вільним кінцем – моменту в защемленні, але не меншим ніж момент у перерізі, що знаходиться на третині довжини елемента від защемлення;
- для стиснутих поясів ферм, що сприймають позавузлове навантаження, – найбільшому моменту в межах середньої третини довжини панелі поясу, який визначають розрахунком поясу як нерозрізної балки;
- для стиснутих стрижнів із шарнірно-обпертими кінцями і перерізами, що мають одну вісь симетрії, яка збігається з площиною згину, – моменту, який визначають за формулами розділу Д.3 додатка Д.

Для стиснутих стрижнів з шарнірно-обпертими кінцями і перерізами, що мають дві осі симетрії, розрахункові значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} потрібно визначати відповідно до розділу Д.3 додатка Д.

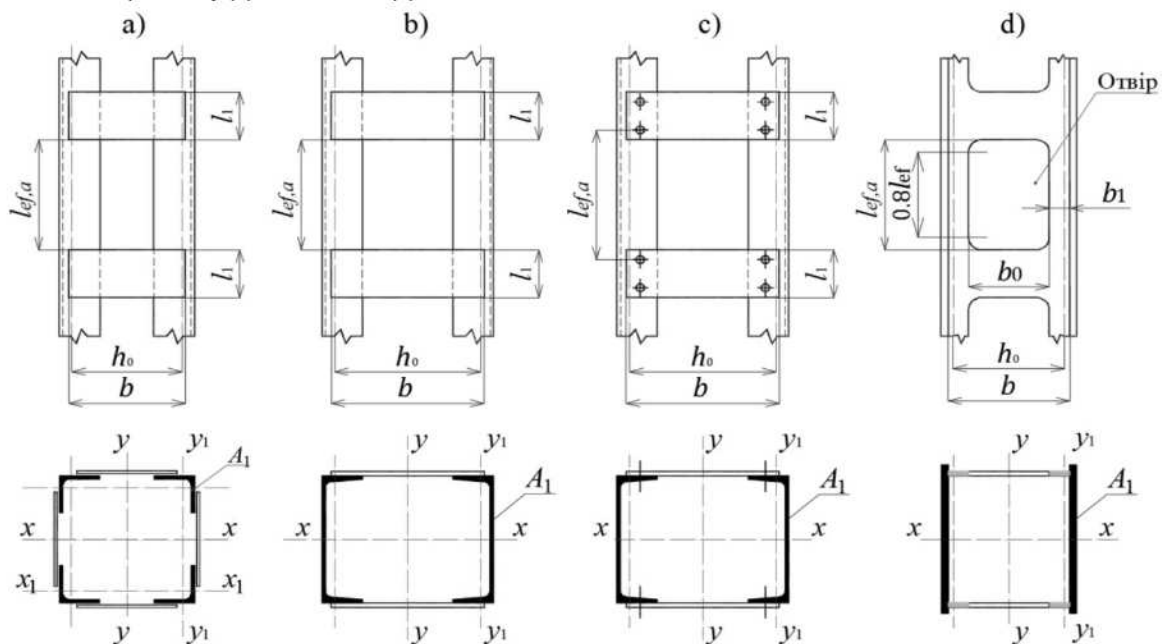


Рисунок 10.1 – Наскрізні прямокутні стрижні з планками і перфорованими листами

Розрахунки для плоскої форми втрати стійкості наскрізних елементів замкнутого перерізу, гілки яких з'єднано планками або перфорованими листами під дією центрального стиску, стиску зі згином і позacentровому стиску, виконують за формулою (10.1).

Розрахунки на стійкість наскрізних елементів виконують для елемента загалом і для окремих гілок (рисунок 10.1):

- елемента загалом – залежно від гнучкості гілки λ_{ef} під час згину в площині, що перпендикулярна і паралельна до площини планок і перфорованих листів, відносно осей $x-x$ і $y-y$, відповідно;

– окремих гілок – залежно від гнучкості гілки λ_a , що розрахована відносно осі, для якої жорсткість на згин найменша.

Приведену гнучкість наскрізного елемента λ_{ef} у площині з'єднувальних планок і перфорованих листів визначають за формулою:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_a^2}, \quad (10.3)$$

де $\lambda = \frac{l_{ef}}{i}$ гнучкість наскрізного елемента в площині з'єднувальних планок або перфорованих листів;

$$\lambda_a = \frac{l_{ef,a}}{i_a} \text{ – гнучкість окремої гілки;}$$

l_{ef} – розрахункова довжина наскрізного елемента загалом;

$l_{ef,a}$ – розрахункова довжина окремої гілки, яку приймають як відстань у просвіт між привареними планками або відстань між центрами крайніх болтів сусідніх планок, або 0,8 довжини вирізу в перфорованому листі (рисунк 10.1);

i_a – радіус інерції перерізу гілки відносно власних осей згину.

Підраховуючи площу перерізу, момент інерції і радіус інерції елемента потрібно приймати еквівалентну товщину t_{ef} , яку визначають:

– для перфорованих листів шириною b , довжиною l і товщиною t – за формулою:

$$t_{ef} = \frac{t \cdot (A - \sum A_i)}{A}, \quad (10.4)$$

де $A = b \cdot l$ – площа листа до утворення перфорації;

$\sum A_i$ – сумарна площа всіх перфорацій на поверхні листа;

– для з'єднувальних планок товщиною t – за формулою:

$$t_{ef} = \frac{t \cdot \sum l_i}{l}, \quad (10.5)$$

де $\sum l_i$ – сума довжин всіх планок елемента (вздовж елемента);

l – довжина елемента.

Наскрізні елементи з деталей, з'єднаних впритул або через прокладки, розраховують як суцільні, якщо найбільші відстані між болтами у просвіт між привареними планками або між центрами крайніх болтів сусідніх планок не перевищують:

– для стиснутих елементів – $40 \cdot i$;

– для розтягнутих елементів – $80 \cdot i$.

Тут i – радіус інерції кутика або швелера, що приймають для складених таврових або двотаврових перерізів відносно осі, паралельної площині розташування прокладок; для хрестових перерізів радіус інерції – мінімальним. У межах довжини стиснутого елемента має бути не менше двох прокладок.

10.4 Складені близько розташовані елементи, що контактують між собою в місцях прокладок (рисунки 10.2 і 10.3), потрібно перевіряти на втрату стійкості як єдиний елемент за формулою (10.1), якщо:

– зсув у місцях контактів сприймається з'єднанням;

– виконано умову, наведену в таблиці 10.2.

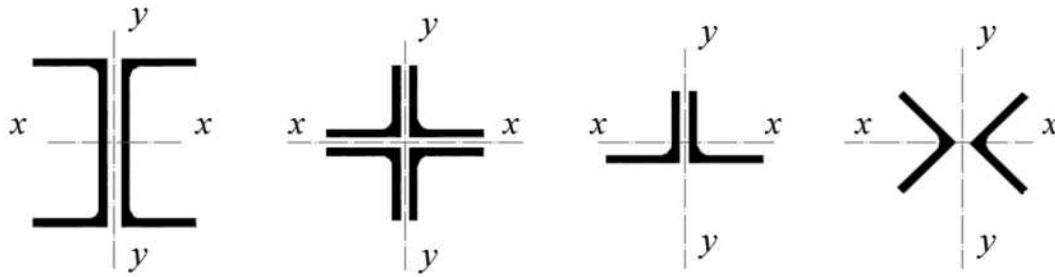


Рисунок 10.2 – Складені елементи з близько розташованими гілками

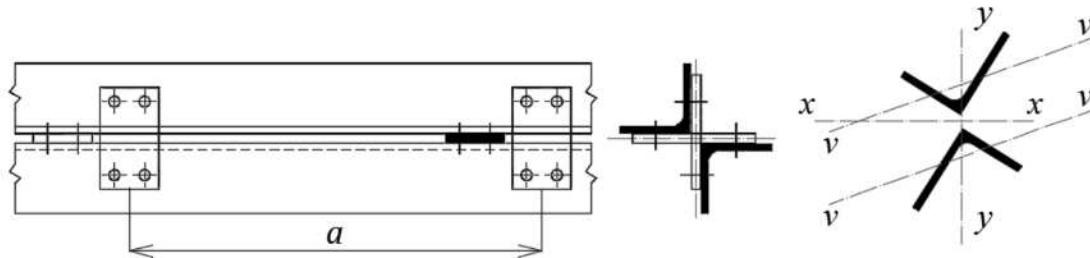


Рисунок 10.3 – Складені зіркоподібні елементи з парою прокладок

Таблиця 10.2 – Максимальний крок між з'єднаннями

Тип з'єднання	Максимальний крок між центрами з'єднань
Елементи з'єднано на болтах або зварюванням через прокладки (рисунок 10.2)	$20 \cdot i_{min}$
Елементи з'єднано парою прокладок (рисунок 10.3)	$70 \cdot i_{min}$
де i_{min} – мінімальний радіус інерції одної гілки	

Для нерівнополичних кутиків (рисунок 10.3) стійкість відносно осі $x - x$ можна визначити за формулою:

$$i_x = \frac{i_0}{1,15}, \quad (10.6)$$

де i_0 – мінімальний радіус інерції складеного елемента.

10.5 Для суцільностінчастих елементів, що мають тільки одну вісь симетрії, втрата стійкості виникає за *згинально-крутильною формою*, навіть у разі центрального стиску.

У таблиці 10.3 надано формули для перевірки згинально-крутильної втрати стійкості елементів з однією віссю симетрії у для випадку $I_x > I_y$ центрально стиснутих елементів, для позацентрово стиснутих в одній і в двох площинах, а також для зігнутих елементів. Формули для визначення критичних зусиль N_{cr} та M_{cr} надано в розділі Д.4 додатка Д.

Таблиця 10.3 – Перевірка згинально-крутильної втрати стійкості елементів

Перевірка стійкості	Гнучкість для визначення φ_c або φ_b	Номер формули
Центрально стиснуті елементи з одною віссю симетрії у для $I_x > I_y$		
$\frac{N_{Ed}}{\varphi_c \cdot N_{Rd}} \leq m$	$\lambda_y = \pi \cdot \sqrt{E \cdot A / N_{cr}}$	(10.7)

Кінець Таблиці 10.3

Перевірка стійкості	Гнучкість для визначення φ_c або φ_b	Номер формули
Позацентричний стиск або стиск зі згином у площині, що збігається з площиною симетрії у для $I_x > I_y$		
$\frac{1}{\varphi_c} \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} \right) \leq m$	$\lambda_y = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot A}{N_{cr} (1 + e_{rel,y})}}$ $e_{rel,y} = e_y \cdot A / W_{x,c} $ $\varphi_c \text{ при } e_{ef} = 0$	(10.8)
Стиск та згин у двох площинах для стрижня з площиною симетрії у для $I_x > I_y$		
$\frac{1}{\varphi_c} \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed,x}}{M_{Rd,x}} + \frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right) \leq m$	$\lambda_y = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot A}{N_{cr} (1 + e_{rel,y} + e_{rel,x})}}$ $e_{rel,y} = e_y \cdot A / W_{x,c} ;$ $e_{rel,x} = e_x \cdot A / W_{y,c} $ $\varphi_c \text{ при } e_{ef} = 0$	(10.9)
Згин балки в площині симетрії у для $I_x > I_y$		
$\frac{M_{Ed,x}}{\varphi_b \cdot M_{Rd,x}} \leq m$	$\lambda_y = \pi \cdot \sqrt{E \cdot W_c / M_{cr}}$ $\varphi_b \text{ у випадку } e_y = 0$	(10.10)
Згин у двох площинах для балки з площиною симетрії у для $I_x > I_y$		
$\frac{M_{Ed,x}}{\varphi_b \cdot M_{Rd,x}} \leq m$	$\lambda_y = \pi \cdot \sqrt{E \cdot W_c / M_{cr}}$ $\varphi_b \text{ у випадку } e_{rel} = \eta \cdot e_{rel},$	(10.11)
	де $e_{rel} = \frac{\sigma_{f,y}}{\sigma_{f,x}}$	
Примітка. Крім перевірки за формулою 10.9, потрібно виконати розрахунок плоскої форми втрати стійкості в площині осі у з ексцентриситетом e_y (за $e_x = 0$) і в площині осі х з ексцентриситетом e_x (за $e_y = 0$).		

У таблиці позначено:

m – коефіцієнт умов роботи за таблицею 7.1;

N_{Ed} і $M_{Ed,x}$, $M_{Ed,y}$ – діючі розрахункові поздовжня сила і згинальні моменти відносно осей х і у відповідно;

$N_{Rk} = R_{yn} \cdot A$; $M_{Rk,x} = R_{yn} \cdot W_{x,c}$; $M_{Rk,y} = R_{yn} \cdot W_{y,c}$ – характеристичні опори поздовжнього стиску і опори згинальним моментам відносно осей х і у, відповідно, де A ; $W_{x,c}$; $W_{y,c}$ – площа перерізу і моменти опорів для найбільш стиснутого волокна перерізу відносно осей х і у;

$N_{Rd} = N_{Rk} / \gamma_{M1}$; $M_{Rd,x} = M_{Rk,x} / \gamma_{M1}$; $M_{Rd,y} = M_{Rk,y} / \gamma_{M1}$ – розрахункові опори поздовжнього стиску і опори згинальним моментам відносно осей х і у відповідно, де γ_{M1} – коефіцієнт надійності для розрахунків стійкості, що дорівнює 1,1;

φ_c і φ_b – коефіцієнти поздовжнього згину для стиснутих і для зігнутих стрижнів;

e_y і e_x – ексцентриситети поздовжньої сили N_{Ed} відносно центра ваги перерізу в напрямку осей у і х, відповідно;

η – коефіцієнт впливу форми перерізу, який визначають за додатком Д;

$\sigma_{f,x}$ – найбільше напруження в стиснутому поясі від дії згинального моменту відносно осі $x - x$ у перерізі, що знаходиться в межах середньої третини незакріпленої довжини стиснутого поясу балки;

$\sigma_{f,y}$ – те саме відносно осі $y - y$;

λ_y – гнучкість згинально-крутильної форми втрати стійкості.

10.6 Перевірку загальної стійкості розрізної балки і стиснутої ділянки поясу нерозрізної балки не виконують, якщо стиснутий пояс об'єднаний із залізобетонною або сталеву плитою.

11 РОЗРАХУНКИ НА СТІЙКІСТЬ ПОЛИЦЬ І СТІНОК ЕЛЕМЕНТІВ, НЕ ПІДКРІПЛЕНИХ РЕБРАМИ ЖОРСТКОСТІ

11.1 Сталеві конструкції несних конструкцій мостів, що виготовлені з ортотропних плит, умовно поділяють на окремі елементи, стійкість яких має бути перевірено.

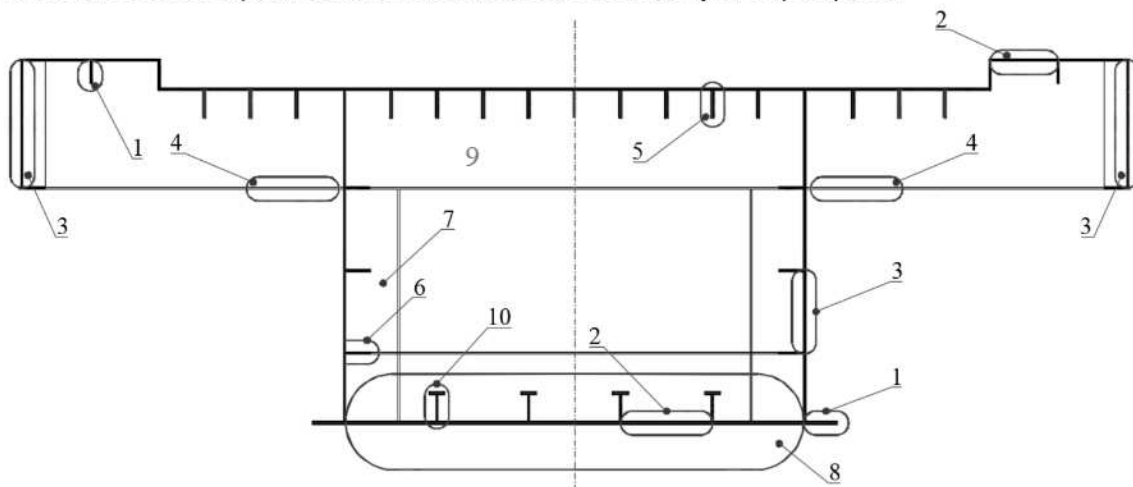


Рисунок 11.1 – Елементи, що потребують перевірки стійкості

Номерами на рисунку 11.1 вказано елементи, розподілені за способами розрахунку стійкості:

- 1) перевірка стійкості пластинок, обпертих з одного боку;
- 2) перевірка стійкості пластинок, обпертих з двох боків;
- 3) перевірка стійкості відсіків стінок головних балок, обмежених поздовжніми і поперечними ребрами;
- 4) перевірка стійкості стиснутих поясів поперечних балок плити проїзду;
- 5) перевірка стійкості стінок поздовжніх ребер плит проїзду;
- 6) перевірка достатності жорсткості поздовжнього ребра на стінці як опори для утворення відсіку;
- 7) перевірка достатності поперечних ребер на стінках головних балок для утримання стінок і утворення жорсткого поперечника;
- 8) розрахунки на стійкість стиснутої плити загалом на згин між поперечними балками;
- 9) перевірка достатності поперечних балок для утримання стиснутої плити;
- 10) розрахунки на стійкість стиснутих поздовжніх ребер.

11.2 Пластинки елементів поперечного перерізу повинні мати достатній опір проти втрати стійкості. Під час конструювання балок стійкість пластинок допускається забезпечувати певним відношенням ширини пластинки до товщини b/t , яке не можна перевищувати.

Це співвідношення визначають за формулами:

– для пластинок:

$$b/t = k \cdot \sqrt{E/\sigma_{x,c}}; \quad (11.1)$$

– для циліндричних труб, діаметром D :

$$D/t = 2,8 \cdot \sqrt{E/\sigma_{x,c}}; \quad (11.2)$$

– для прямокутних труб:

$$b/t = 1,7 \cdot \sqrt{E/\sigma_{x,c}}, \quad (11.3)$$

де k – параметр, який приймають за таблицю 11.1;

$\sigma_{x,c}$ – напруження стиску вздовж пластинки за рівномірного розподілу напружень по ширині;

E – модуль пружності;

b – розрахункова ширина пластинки;

t – товщина пластинки.

Для елементів типів 1 і 2 (тут і далі див. рисунок 11.1), а саме для стиснутих пластинок, що закріплені по одній або по двох кромках, відношення ширини пластинки до товщини b/t приймають за формулою (11.1) у запас, користуючись даними таблиці 11.1. У разі врахування перекоосу епюри напружень і ступеню защемлення кромки потрібно користуватися формулою (11.4).

Для елементів типу 3, а саме для відсіків стінок, підданих дії нормальних напружень σ_x , σ_y і дотичних напружень τ_{xy} , розрахунки на стійкість виконують згідно з додатком Е.1.

Для елементів типу 4, а саме для стиснутих поясів поперечних балок ортотропних плит, їхні звиси розраховують як пластинки типу 1, а втрату стійкості поясу з площини стінки виконують як для стиснутого стрижня відповідно до розділу 10.

Таблиця 11.1 – Значення параметра k для оцінки стійкості

Елементи і перерізи	k	Ширина, b
Для плит, обпертих одною кромкою (рівномірний стиск вздовж кромки)		
Полиці, стінки і звиси (з пружним закріпленням кромки)	0,56	½ ширини поясів двотаврів і таврів;
		ширина полиць швелерів;
		відстань від кромки і першим рядом болтів або зварним швом;
		повна ширина пера кутика в місцях контактів
Стінка тавра (з пружним закріпленням кромки)	0,75	повна висота тавра
Пера кутиків тощо (з шарнірним закріпленням кромки)	0,45	повна ширина пера вільного кутика;
		повна ширина звисів
Для плит, обпертих двома кромками (рівномірний стиск вздовж кромки)		
Коробчасті перерізи	1,40	відстань між рядами болтів або швами зварювання;
		відстань між ребрами
Стінки двотаврів, швелерів тощо	1,49	відстань між поясами;
		відстань між двома ребрами
Перфоровані листи	1,86	відстань між кромками

Для елементів типу 5, а саме для стиснутих кромок поздовжніх ребер ортотропних плит проїзду під час згинання, виконують розрахунки згідно з додатком Е.

Для елементів типу 6, штабових поздовжніх ребер на стінках, виконують розрахунки на стійкість як для типу 1 і перевіряють достатність перерізу ребра для утримання стінки згідно з додатком Е.2.

Для елементів типу 7, поперечних ребер на стінках, виконують перевірку достатності перерізу ребра для утримання стінки з поздовжніми ребрами і для утримання відкритого стиснутого поясу згідно з додатком Е.2.

Для елементів типу 8, стиснутих ортотропних плит (лист настилу з поздовжніми ребрами) між поперечними балками, перевіряють стійкість згідно з додатком Е.3.

Для елементів типу 9, поперечних балок ортотропних плит, перевіряють жорсткість згідно з додатком Е.3.

Для елементів типу 10, таврових і штабових поздовжніх ребер стиснутих плит, перевіряють стійкість ребра як стрижня між поперечними балками на стійкість згину і крученню згідно з додатком Е.2.

11.3 Для критичних випадків (якщо втрата стійкості призведе до перерозподілу зусиль у перерізі) оцінюють стійкість пластинок з урахуванням пружних деформацій усіх елементів перерізу.

11.4 Для визначення відношення b/t у рівномірно стиснутих з напруженням $\sigma_{x,c}$ пластинках типу 1 (обпертих по одній кромці) і типу 2 (обпертих по двох кромках) у припущенні шарнірного обпирання кромок допускається користуватися таблицею 11.2 (у запас).

Таблиця 11.2 – Відношення ширини пластинки до товщини b/t

Напруження, $\sigma_{x,c}$ МПа	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420
	Відношення ширини до товщини пластинки											
Тип 1· $k = 10,45$	14,6	13,9	13,3	12,8	12,3	11,9	11,5	11,2	10,9	10,6	10,3	10,1
Тип 2· $k = 1,40$	45,4	43,3	41,4	39,8	38,3	37,0	35,9	34,8	33,8	32,9	32,1	31,3

11.5 Для врахування защемлення кромок і перекосу епюри напружень по ширині пластинки стійкість полиць і стінок елементів, не підкріплених ребрами жорсткості, якщо середні дотичні напруження не перевищують $0,2 \cdot \sigma_x$, потрібно забезпечувати призначенням відношення висоти стінки або ширини поясу (h_w, b_f) до товщини стінки або поясу (t_w, t_f) не більшим ніж:

$$h/t \text{ або } b/t \leq 0,951 \cdot \alpha \cdot \sqrt{E / \sigma_{x,cr,ef}}, \quad (11.4)$$

де α – коефіцієнт, який знаходять за формулами (11.5) та (11.6);

$\sigma_{x,cr,ef}$ – приведені критичні напруження, що визначають за таблицею 11.4 приймаючи за критичні $\sigma_{x,cr}$ найбільші нормальні напруження стиску, діючі в елементі $\sigma_{x,max}$ (додатні за стиснення).

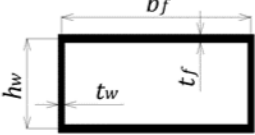
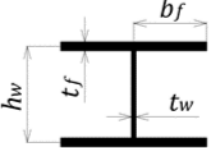
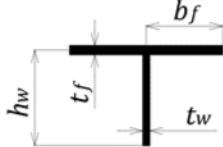
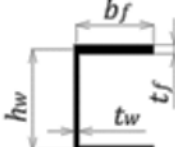
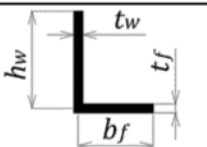
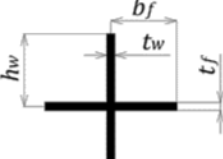
Коефіцієнт α для пластинок, обпертих з одного боку, знаходять за формулою (11.5), а для пластинок, обпертих з обох боків, – за формулою (11.6):

$$\alpha = \left(1 + \frac{3,1}{3 \cdot \nu + 4} \right) \cdot \sqrt{0,405 + 0,085 \cdot \xi^2}, \quad (11.5)$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{0,96}{10 \cdot \nu + 3} \right) \cdot \sqrt{4 + 3,8 \cdot \xi^{2,33}}. \quad (11.6)$$

Коефіцієнт защемлення пластинки ν , який знаходять за формулами таблиці 11.3, не може мати від'ємного значення, і тоді його приймають $\nu = \infty$. Значення $\nu = 0$ означає защемлення кромки; значення $\nu = \infty$ означає шарнірне обпирання.

Таблиця 11.3 – Значення коефіцієнта защемлення пластинки

Тип перерізу елемента	Коефіцієнти защемлення пластинок, v		
	Стінки	Полиці	
 Коробчастий	$v_1 = \beta^3 \cdot \frac{0,38}{1 - \beta^2 \cdot \delta^2}$	$v_2 = \frac{1}{\beta^3} \cdot \frac{0,38}{1 - 1/(\beta^2 \cdot \delta^2)}$	
 Двотавровий	$v_3 = \beta^3 \cdot \frac{0,16 + 0,0056/\delta}{1 - 9,4 \cdot \beta^2 \cdot \delta^2}$	$v_4 = \frac{1}{\beta^3 \cdot \delta^2} \cdot \frac{2}{1 - 0,106/(\beta^2 \cdot \delta^2)}$	
 Тавровий	$v_1 = \beta^3 \cdot \frac{1}{1 - \beta^2 \cdot \delta^2}$	$v_6 = \frac{1}{\beta^3 \cdot \delta} \cdot \frac{2}{1 - 1/(\beta^2 \cdot \delta^2)}$	
 Швелерний	$v_7 = 2 \cdot v_3$	$v_8 = 0,5 \cdot v_4$	
 Кутиковий для полиці висотою h_w	—	для перерізу кутика у випадку b_f / h_w	
		1,000	0,667
		$v_9 = \infty$	$v_9 = 5,2$
 Хрестовий	$v_{10} = \infty$	$v_{10} = \infty$	

Коефіцієнт ξ , що враховує перекошення епюри напружень по границях пластинки, визначають (для перерізів бруто) за формулою:

$$\xi = 1 - \frac{\sigma_{x,\min}}{\sigma_{x,\max}}, \quad (11.7)$$

де $\sigma_{x,\max}$ і $\sigma_{x,\min}$ – максимальне і мінімальне нормальні напруження по поздовжніх границях пластинки, додатні для стиснення, визначені розрахунком у пружній стадії роботи матеріалу;

$\delta = b_f / h_w$ – відношення ширини поясу до ширини стінки;

$\beta = t_w / t_f$ – відношення товщини стінки до товщини поясу.

Таблиця 11.4 – Приведені критичні напруження

Клас міцності	Значення $\sigma_{x,max} = \sigma_{x,cr}$, МПа	Формули для визначення $\sigma_{x,cr,ef}$, МПа
С245	≤ 180	$1,111 \cdot \sigma_{x,cr}$
	$180 \leq 210$	$\left(1,868 - 2,42 \cdot \sqrt{1 - 1000 \cdot \sigma_{x,cr} / E}\right) \cdot E / 1000$
	> 210	390
С345	≤ 190	$1,111 \cdot \sigma_{x,cr}$
	$190 \leq 290$	$\left(2,544 - 2,62 \cdot \sqrt{1 - 724 \cdot \sigma_{x,cr} / E}\right) \cdot E / 1000$
	> 290	530
С390	≤ 210	$1,111 \cdot \sigma_{x,cr}$
	$210 \leq 350$	$\left(2,868 - 2,778 \cdot \sqrt{1 - 600 \cdot \sigma_{x,cr} / E}\right) \cdot E / 1000$
	> 350	600

12 РОЗРАХУНКОВІ ДОВЖИНИ

12.1 Розрахункові довжини l_{ef} елементів головних ферм, крім елементів перехресної решітки, приймають за таблицю 12.1.

Таблиця 12.1 – Значення розрахункової довжини елементів головних ферм

Напрямок поздовжнього згину	Розрахункова довжина, l_{ef}		
	поясів	опорних розкосів і опорних стояків*	інших елементів решітки
1. У площині ферми	l	l	$0,8 \cdot l$
2. З площини ферми	l_1	l_1	l_1

l – геометрична довжина елемента (відстань між центрами вузлів) у площині ферми;
 l_1 – відстань між вузлами, закріпленими від зміщення з площини ферми
 * Розрахункову довжину опорних розкосів і опорних стояків біля проміжних опор нерозрізних прогонових будов приймають як для інших елементів решітки.

12.2 Розрахункову довжину l_{ef} елемента, вздовж якого діють різні стискальні зусилля N_1 , N_2 (причому $N_1 > N_2$), з площини ферми (з трикутною решіткою, зі шпренгелем або з напіврозкісною тощо) обчислюють за формулою:

$$l_{ef} = l_1 \cdot (0,75 + 0,25 \cdot N_2 / N_1), \quad (12.1)$$

де l_1 – відстань між вузлами, закріпленими від зміщення з площини ферми (таблиця 12.1).

Розрахунок стійкості в цьому випадку виконують на зусилля N_1 .

Формулу (12.1) можна застосовувати під час дії розтягувальної сили N_2 . У цьому випадку значення N_2 приймають зі знаком мінус, а $l_{ef} \geq 0,5 \cdot l_1$.

12.3 Розрахункові довжини l_{ef} елементів перехресної решітки головної ферми приймають:

– у площині ферми такими, що дорівнюють $0,8 \cdot l$, де l – відстань від центру вузла ферми до точки їхнього перетину;

– з площини ферми: для стиснутих елементів – за таблицю 12.2; для розтягнутих елементів – такими, що дорівнюють повній геометричній довжині елемента $l_{ef} = l_1$ (див. таблицю 12.1).

Таблиця 12.2 – Значення розрахункової довжин елементів з площини ферми за наявності підтримувального елемента

Характеристика підтримувального (з площини ферми) елемента	Розрахункова (ефективна) довжина l_{ef} з площини ферми за наявності підтримувального елемента		
	розтягнутого	без зусиль	стиснутого
Обидва елементи (основний і підтримувальний) не перериваються	l	$0,7 \cdot l_1$	l_1
Основний елемент суцільний, а підтримувальний переривається на фасонці	$0,7 \cdot l_1$	l_1	$1,4 \cdot l_1$
Основний і підтримувальний елементи перериваються на фасонці	$0,7 \cdot l_1$	–	–

12.4 Перевіряючи загальну стійкість балки, розрахункову довжину стиснутого поясу приймають такою, що дорівнює:

- відстані між вузлами ферми поздовжніх в'язей – за наявності поздовжніх в'язей у ділянці верхніх і нижніх поясів і поперечних в'язей в опорних перерізах;
- відстані між фермами поперечних в'язей – за наявності поздовжніх в'язей тільки в ділянці розтягнутих поясів, одночасно ферми поперечних в'язей потрібно центрувати з вузлами поздовжніх в'язей, а гнучкість поясів зазначених ферм не має перевищувати 100;
- прогону балки – за відсутності в прогоні поздовжніх і поперечних в'язей;
- відстані від кінця консолі до найближчої площини поперечних в'язей за опорним перерізом консолі – у випадку навісного монтажу прогонової будови або поздовжнього насування.

12.5 Розрахункову довжину стиснутого поясу головної l_{ef} балки або ферми «відкритої» прогонової будови, що не має поздовжніх в'язей у цьому поясі, визначають з розрахунку стійкості стрижня на пружних опорах, стиснутого змінною за довжиною поздовжньою силою.

Допускається визначати зазначену розрахункову довжину за формулою:

$$l_{ef} = \mu \cdot l, \quad (12.2)$$

де l – довжина поясу, що дорівнює розрахунковому прогону – для балок і ферм із паралельними поясами, повній довжині поясу – для балок із криволінійним верхнім поясом і ферм із полігональним верхнім поясом;

μ – коефіцієнт розрахункової довжини.

Коефіцієнти розрахункової довжини μ для поясів балок і ферм із паралельними поясами приймають за таблицю 12.3.

Коефіцієнти розрахункової довжини μ для ферми з полігональним або балки з криволінійним верхнім поясом необхідно визначати за таблицю 12.3, найбільше переміщення δ приймають для рами, розташованої в середині прогону.

Таблиця 12.3 – Значення коефіцієнтів розрахункової довжини μ

ξ	0	5	10	15	30	60	100	150	200	300	500	1000	> 1000
μ	0,696	0,524	0,443	0,396	0,353	0,321	0,290	0,268	0,246	0,225	0,204	0,174	μ_1

Примітка 1. Якщо розрахункова довжина $l_{ef} < 1,3 \cdot d$, то її визначають з розрахунку стійкості стрижня на пружних опорах.

Примітка 2. Для проміжних значень ξ коефіцієнт μ визначають за лінійною інтерполяцією.

У таблиці 12.3 позначено:

$$\mu_1 = 0,174 \cdot \sqrt[4]{1000 / \xi}, \quad (12.3)$$

$$\xi = \frac{I^4}{16 \cdot d \cdot \delta \cdot E \cdot I_m}, \quad (12.4)$$

де d – відстань по довжині мосту між рамами, що утримують пояс від поперечних горизонтальних переміщень;

δ – найбільше горизонтальне переміщення вузла рами (крім опорних рам) від одиничної сили $F = 1$;

I_m – середнє (по довжині прогону) значення моменту інерції стиснутого поясу балки (ферми) відносно вертикальної осі.

12.6 Розрахунок арок за стійкістю рекомендується виконувати в пружних просторових схемах з урахуванням спільної роботи арок і елементів проїзної частини і елементів, що її підтримують.

Перевіряючи загальну стійкість арки суцільного сталого перерізу допускається визначати розрахункову довжину l_{ef} у її площині за формулою (12.2), де μ визначають як

$$\mu_1 = \pi \cdot \sqrt{8 \cdot \alpha / \zeta}, \quad (12.5)$$

де l – довжина прогону арки;

$\alpha = f / l$ – коефіцієнт (f – стріла підйому арки);

ζ – коефіцієнт, який приймають за таблицею 12.4.

Таблиця 12.4 – Значення коефіцієнта ζ залежно від типу арки

Поз	Тип арки	Коефіцієнт ζ
1	Двошарнірна з їздою знизу з гнучкою затяжкою*, що з'єднана з аркою підвісками	$\zeta = 2 \cdot \zeta_1$
2	Безшарнірна	$\zeta = 2 \cdot \zeta_1 + \alpha \cdot \zeta_1$
3	Тришарнірна	менше із $\zeta = \zeta_1$ або $\zeta = \zeta_2$
4	Двошарнірна з нерозрізною балкою жорсткості, що з'єднана з аркою стояками	$\zeta = \zeta_1 + (0,95 + 0,7 \cdot \alpha^2) \cdot \beta \cdot \zeta_1$
ζ_1 та ζ_2 – коефіцієнти, який приймають за таблицею 12.5; $\alpha = f / l$ за формулою (12.5); $\beta = E \cdot I_b / (E \cdot I_a)$; де I_b і I_a – моменти інерції балки жорсткості й арки, відповідно; * у разі відношення згинальної жорсткості балки до арки понад 0,8, розрахункову довжину арки визначають як для двошарнірної з нерозрізною балкою жорсткості, що з'єднана з аркою стояками.		

Значення ζ для двошарнірної арки змінного перерізу, за умови, що зміна її моменту інерції не перевищує 10 % від його середнього значення, допускається визначати за таблицею 12.4, використовуючи жорсткість $E \cdot I_a$ у чверті прогону.

У всіх випадках розрахункова довжина l_{ef} арки в її площині має бути не меншою за відстань між вузлами прикріплення стояків або підвісок.

Таблиця 12.5 – Значення коефіцієнтів ζ_1 та ζ_2

α	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
ζ_1	28,5	45,4	46,5	43,9	36,8	30,5	20,0	14,1
ζ_2	22,5	39,6	47,3	49,2	44,0	–	–	–
Примітка. Для проміжних значень α коефіцієнти ζ_1 і ζ_2 визначають за лінійною інтерполяцією.								

12.7 Розрахункову довжину l_{ef} елементів поздовжніх і поперечних в'язей з будь-якою решіткою, крім хрестової, приймають такою, що дорівнює:

– у площині в'язей – відстані l_2 між центрами прикріплень елементів в'язей до головних ферм або балок, а також балок проїзної частини;

– з площини в'язей – відстані l_3 між точками перетину осей елементів в'язей з осями крайніх рядів болтів прикріплення фасонок в'язей до головної ферми або балки, а також балок проїзної частини.

За розрахункову довжину l_{ef} елементів перехресних в'язей приймають:

– у площині в'язей – відстань від точки перетину осей в'язей до центру прикріплення кінця в'язі;

– із площини в'язей: для розтягнутих елементів – відстань l_3 ; для стиснутих елементів – розміри за таблицею 12.2, приймаючи за l_1 відстань l_3 .

Для елементів в'язей із будь-якою решіткою, крім хрестової, з одиночних кутиків розрахункова довжина l_{ef} дорівнює відстані l між крайніми болтами прикріплень їхніх кінців. Для хрестової решітки в'язей $l_{ef} = 0,6 \cdot l$. Радіус інерції приймають мінімальним: $i = i_{\min}$.

12.8 У суцільностінчастих балках розрахункову довжину l_{ef} опорних стояків, що складаються з одного або кількох опорних ребер жорсткості і ділянок стінки, що примикають до них, визначають за формулою:

$$l_{ef} = \mu \cdot l_c, \quad (12.6)$$

де μ – коефіцієнт розрахункової довжини;

l_c – довжина опорного стояка балки, що дорівнює відстані від верху домкратної балки до верхнього поясу або до найближчого вузла поперечних в'язей.

Коефіцієнт розрахункової довжини опорного стояка визначають за формулою:

$$\mu = \sqrt{\frac{n + 0,56}{n + 0,14}}. \quad (12.7)$$

У «відкритих» прогонових будовах приймають $n = 0$, інакше – за формулою:

$$n = \frac{l_c \cdot I_r}{l_r \cdot I_c}, \quad (12.8)$$

де I_c і I_r – моменти інерції перерізу опорного стояка і розпірки з площини стінки, відповідно;

l_c і l_r – довжина опорного стояка і розпірки поперечних в'язей, відповідно;

Під час визначення площі й моменту інерції опорного ребра до складу його перерізу потрібно враховувати ділянки стінки, що примикають до нього. З кожного боку ребра – $b_1 = 0,5 \cdot t \cdot \sqrt{E / R_{yn}}$, а між ребрами не більше ніж – $b_2 = 1,4 \cdot t \cdot \sqrt{E / R_{yn}}$.

13 ГРАНИЧНА ГНУЧКІСТЬ СТРИЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

13.1 Гнучкість стрижневих елементів λ не має перевищувати значень, наведених у таблиці 13.1.

Таблиця 13.1 – Максимальна гнучкість стрижневих елементів

Елементи конструкції		Максимальна гнучкість λ стрижневих елементів мостів	
		залізничних і пішохідних	автодорожніх та суміщених під рейковий і автомобільний транспорт
Стиснуті та стиснуто-розтягнуті елементи головних ферм; стояків опор; розтягнуті елементи поясів головних ферм		100	120
Розтягнуті елементи головних ферм, крім поясів; елементи, призначені для зменшення розрахункової довжини l_{ef}		150	150
Пояси ферм поперечних в'язей, у рівні яких відсутні поздовжні в'язі або плита, що приєднана до поясів головних балок		100	100
Елементи поздовжніх в'язей головних ферм та поздовжніх балок, а також гальмівних в'язей	стиснутих	130	150
	розтягнутих	130	180
Елементи поперечних в'язей	на опорі	130	150
	у прогоні	150	150
Гілки складеного елемента	стиснутого	40	40
	розтягнутого	50	50

14 РОЗРАХУНКИ НА ВИТРИВАЛІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

14.1 Розрахунки на витривалість сталевих елементів мостів усіх систем і призначень виконують відповідно до додатка Ж.

Клас міцності сталі і загальний рівень напружень від сумарної дії постійних і змінних навантажень не враховують. Витривалість оцінюють лише за розмахом циклічних напружень, який порівнюють з граничними розмахами напружень, отриманими за результатами випробувань, що наведені для основних типів елементів і з'єднань. Під час розрахунків існує можливість оцінювати кількість циклів навантажень для деталі протягом розрахункового строку експлуатації мосту і виконувати перевірку витривалості для отриманої кількості циклів.

14.2 Розрахунки на витривалість залізничних мостів допускається виконувати відповідно до 14.3. Результати, отримані за розрахунком відповідно до 14.3, рекомендовано порівняти з результатами, що отримані під час розрахунків, виконаних відповідно до додатка Ж, і приймати більш несприятливі значення.

14.3 Розрахунки на витривалість елементів сталевих конструкцій і з'єднань залізничних мостів (крім сталевих канатних елементів) допускається виконувати за формулами:

$$\sigma_{\max,ef} \leq \gamma_{fat} \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_M} \cdot m, \quad (14.1)$$

$$\tau_{\max,ef} \leq 0,75 \cdot \gamma_{fat} \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_M} \cdot m, \quad (14.2)$$

де $\sigma_{\max,ef}$ – абсолютне найбільше значення нормальних напружень – додатне під час розтягу;

$\tau_{\max,ef}$ – абсолютне найбільше значення дотичних напружень для розрахунків кутових швів;

γ_{fat} – коефіцієнт, що враховує зменшення розрахункового опору текучості за рахунок втоми, який визначають за формулою:

$$\gamma_{fat} = \frac{1}{\zeta \cdot \vartheta \cdot [(\alpha \cdot \beta \pm \delta) - (\alpha \cdot \beta \mp \delta) \cdot \rho]} \leq 1,0. \quad (14.3)$$

У формулі (14.3) верхні знаки (+ або –) приймають:

– для формули (14.1), якщо $\sigma_{\max} > 0$;

– і завжди для формули (14.2).

ζ – коефіцієнт, що дорівнює 1,0 для залізничних мостів;

ϑ – коефіцієнт, що залежить від довжини завантаження λ лінії впливу для розрахунків $\sigma_{\max}$, який визначають за формулами:

$$\vartheta = 1 \text{ (для } \lambda \geq 22 \text{ м); } \vartheta = v - \xi \cdot \lambda \text{ (для } \lambda < 22 \text{ м).} \quad (14.4)$$

Коефіцієнти v та ξ визначають за таблицею 14.2;

α та δ – коефіцієнти, що враховують марку сталі і змінність режиму навантаження, які визначають за таблицею 14.1.

β – ефективний коефіцієнт концентрації напружень, який визначають за додатком И;

ρ – коефіцієнт асиметрії циклів змінних напружень, який визначають за формулами:

$$\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}, \quad (14.5)$$

$$\rho = \tau_{\min} / \tau_{\max}, \quad (14.6)$$

$\sigma_{\min}$, $\sigma_{\max}$ та $\tau_{\min}$, $\tau_{\max}$ – найменші та найбільші напруження за абсолютними значеннями зі своїми знаками, що знайдені в тому самому перерізі.

Таблиця 14.1 – Значення коефіцієнтів α та δ

Нормативний опір текучості, МПа	Значення коефіцієнтів	
	α	δ
до 250	0,64	0,20
251 – 350	0,72	0,24
351 і більше	0,82	0,20

Таблиця 14.2 – Значення коефіцієнтів ν та ξ

Ефективний коефіцієнт концентрації β	Значення коефіцієнтів ν та ξ для сталей з характеристичним опором текучості, МПа			
	до 250		251 і більше	
	ν	ξ	ν	ξ
1,0	1,45	0,0205	1,65	0,0295
1,1	1,48	0,0218	1,69	0,0315
1,2	1,51	0,0232	1,74	0,0335
1,3	1,54	0,0245	1,79	0,0355
1,4	1,57	0,0258	1,83	0,0375
1,5	1,60	0,0271	1,87	0,0395
1,6	1,63	0,0285	1,91	0,0415
1,7	1,66	0,0298	1,96	0,0436
1,8	1,69	0,0311	2,00	0,0455
1,9	1,71	0,0325	2,04	0,0475
2,0	1,74	0,0338	2,09	0,0495
2,2	1,80	0,0364	2,18	0,0536
2,3	1,83	0,0377	2,23	0,0556
2,4	1,86	0,0390	2,27	0,0576
2,5	1,89	0,0404	2,31	0,0596
2,6	1,92	0,0417	2,36	0,0616
2,7	1,95	0,0430	2,40	0,0636
3,1	2,07	0,0483	2,57	0,0716
3,2	2,10	0,0496	2,62	0,0737
3,4	2,15	0,0523	2,71	0,0777
3,5	–	–	2,75	0,0797
3,7	–	–	2,84	0,0897
4,4	–	–	3,15	0,0977

14.4 Розрахунки на витривалість відповідно до додатка И і 14.3 ґрунтуються на значеннях номінальних напружень – напружень, у перерізі або елементі, що визначені без урахування локальних ефектів концентрації напружень, наприклад, біля швів зварювання або біля отворів. Для випадків, в яких ефект концентрації напружень не охоплено стандартними табличними випадками, оцінюють витривалість за локальними напруженнями відповідно до вимог [ДСТУ-Н Б EN 1993-1-9](#).

Під час визначення коефіцієнтів γ_{fat} для швів зварювання приймають ті самі коефіцієнти α та δ , що і для основного металу.

15 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКІВ НЕСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І З'ЄДНАНЬ

15.1 Загальні вимоги

15.1.1 Цикл розрахунків прогонових будов передбачає складання декількох видів розрахункових схем, за допомогою яких досліджують напружено-деформований стан конструкції мосту:

- глобальні схеми на стадії зведення із урахуванням етапності включення елементів у роботу;
- глобальні схеми для розрахунків від навантажень і впливів на стадії експлуатації;
- локальні схеми для розрахунків елементів проїзду;
- локальні схеми для розрахунків ділянок обпирань на опорні частини і ділянок прикладання інших зосереджених навантажень.

15.1.2 Якщо не вказано інше, то розрахунковий напружений стан конструкції має бути визначений як пряма сума ефектів від глобальних і локальних навантажень за формулою:

$$E_{sum} = E_{glob} + E_{loc} \quad (15.1)$$

Ефекти навантажень (зусилля, напруження, деформації) потрібно отримувати від дії навантажень і впливів для найбільш несприятливої проєктної ситуації, яка передбачена додатком «Аварійні ситуації» потрібно враховувати окремо згідно з розділом 27 [ДБН В.1.2-15](#).

15.1.3 Деталізація розрахункових схем для елементів головних ферм має бути достатньою для визначення ефектів навантажень від ексцентриситетів, що виникають під час створення конструкції ферми.

15.1.4 Для прогонових будов з балками коробчастого перерізу крутильні жорсткості коробок потрібно враховувати в розрахункових схемах. Допускається крутильну жорсткість стрижневого елемента визначати за формулою для замкненого тонкостінного контуру. Більш точні значення можуть бути отримані під час розрахунку на закручування фрагмента балки, складеної з плитних елементів з поздовжніми і поперечними ребрами.

15.1.5 Жорсткості балок потрібно визначати з урахуванням ефективної ширини плит відповідно до додатка В.

15.1.6 Елементи, які використовують для зменшення вільної довжини стиснутих елементів, потрібно розраховувати на отримані в схемах зусилля, але не менші ніж 3 % від осьової сили стиску в елементі.

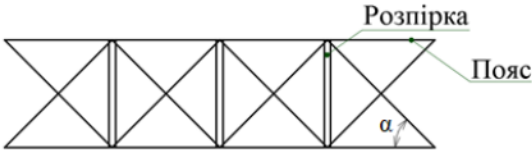
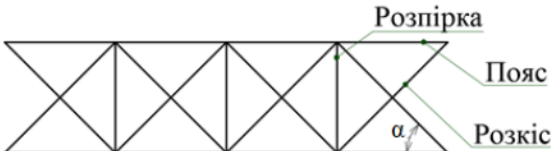
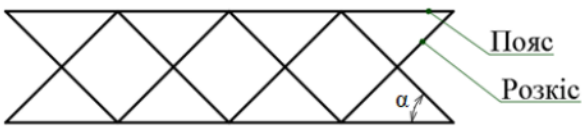
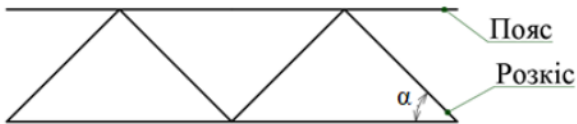
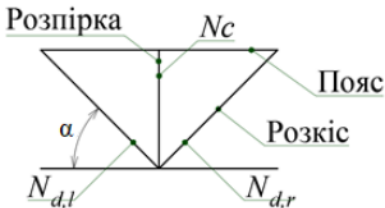
15.1.7 Результати розрахунків схем із геометрично нелінійними елементами на кінцевому етапі збирання з повними постійними навантаженнями потрібно співставляти з результатами лінійних розрахунків на цій стадії. У разі різниці в результатах понад 5 %, нелінійність має бути врахована.

15.2 Розрахунки поздовжніх в'язей

15.2.1 Зусилля в елементах поздовжніх в'язей із хрестовою, ромбічною і трикутною решіткою від деформації поясів головних ферм або балок визначають у просторових розрахункових схемах від навантажень, що діють після їхнього включення у роботу.

Зусилля в елементах поздовжніх в'язей, не з'єднаних з поздовжніми балками або з'єднаних за наявності розривів у них, допускається визначати за формулами таблиці 15.1.

Таблиця 15.1 – Визначення зусиль в елементах поздовжніх в'язей

Схема решітки	Зусилля в розкосі (діагоналі), α
Хрестова, де розпірки – поперечні балки 	$N_d = A_d \cdot (\sigma_f \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_{mf} \cdot \sin^2 \alpha)$
Хрестова, інші випадки 	$N_d = \frac{A_d \cdot \sigma_f \cdot \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cdot \frac{A_d}{A_c} \cdot \sin^3 \alpha}$
Ромбічна 	$N_d = \frac{A_d \cdot \sigma_f \cdot \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cdot \frac{A_d}{A_c} \cdot \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{48 \cdot I} \cdot B^2 \cdot \cos^3 \alpha}$
Трикутна 	$N_d = \frac{A_d \cdot \sigma_f \cdot \cos^2 \alpha}{1 + 2 \cdot \frac{A_d}{A_c} \cdot \sin^3 \alpha + \frac{A_d}{12 \cdot I} \cdot B^2 \cdot \cos^3 \alpha}$
	$N_c = (N_{d,l} + N_{d,r}) \cdot \sin \alpha$ (зусилля в розпірці)

У формулах таблиці 15.1 позначено:

N_d і N_c – зусилля відповідно в розкосі і розпірці в'язей;

$N_{d,l}$ і $N_{d,r}$ – зусилля в розкосі відповідно з лівого й правого боку від розпірки;

σ_f – нормальне напруження у поясі головної ферми;

σ_{mf} – середні (обчислені з урахуванням нерівномірності розподілу згинальних моментів за довжиною балки) напруження в нижньому поясі поперечної балки;

A_d і A_c – площа перерізу відповідно до розкосу і розпірки в'язей; якщо розпіркою є поперечна балка, у формулах таблиці 15.1 приймають $A_c = \infty$;

I – момент інерції поясу головної ферми відносно вертикальної осі;

α – кут між розкосом в'язей і поясом головної ферми;

B – відстань між осями поясів головних ферм.

У формулах таблиці 15.1 для визначення зусиль в елементах в'язей балок із суцільною стінкою замість σ_f приймають напруження σ_w у стінці головної балки, обчислене за площею бруто на рівні розташування площин в'язей; у формулі замість σ_{mf} приймають середнє напруження σ_{mw} у стінці поперечної балки на рівні розташування площини в'язей, обчислене так само, як і σ_{mf} .

Зусилля в елементах поздовжніх в'язей з напіврозкісною решіткою від вертикального навантаження допускається не враховувати.

15.2.2 Зменшення зусиль у поясах головних ферм за рахунок включення поздовжніх в'язей у спільну роботу в суцільнозварних прогонових будовах потрібно враховувати від усього навантаження, що діє після постановки і закріплення поздовжніх в'язей, а в болто-зварних прогонових будовах – тільки від тимчасового вертикального навантаження.

15.2.3 Розрахунок міцності і витривалості поясів головних ферм із ромбічною і трикутною решіткою в'язей, а також хрестовою з розпірками різної жорсткості виконують з урахуванням згинальних моментів, що виникають у поясах від деформації елементів в'язей і від деформації поперечних балок проїзної частини незалежно від виду в'язей.

Згинальні моменти в поясі, що діють у площині в'язей з трикутною і ромбічною решіткою, визначають за формулою:

$$M_f = N_c \cdot l_m / 4, \quad (15.2)$$

де N_c – зусилля в розпірці в'язей;

l_m – відстань між центрами вузлів прикріплення елементів до поясу.

15.3 Розрахунки елементів проїзду

15.3.1 Проїзну частину залізничних ферм рекомендується виконувати у вигляді ортотропної плити включеної (або ні) у спільну роботу з поясами ферми або у вигляді балкової клітини, складеної з системи поздовжніх і поперечних балок.

15.3.2 Правила проєктування і розрахунку ортотропних плит наведено в додатках Е, Ж і М.

15.3.3 Поздовжні балки балкової проїзної частини, по яких здійснюється їзда потягів і які не мають розривів поздовжніх балок (спеціальних пристроїв з поздовжньо рухомими обпираннями їхніх кінців), розраховують на міцність у пружній постановці з урахуванням додаткових зусиль від спільної роботи з поясами головних ферм, але зменшення зусиль у поясах головних ферм допускається враховувати тільки за умови включення проїзної частини в спільну роботу з ними спеціальними горизонтальними діафрагмами.

15.3.4 За умови включення проїзної частини в спільну роботу з решітчастими головними фермами в розрахунках усіх болто-зварних прогонових будов незалежно від порядку їхнього монтування, зменшення зусиль в поясах головних ферм потрібно враховувати тільки по відношенню до впливів тимчасового вертикального навантаження.

Визначають зусилля у проїзній частині :

– від усіх навантажень – за умови включення проїзної частини в спільну роботу з головними фермами одночасно з їхнім монтуванням;

– тільки від тимчасового вертикального навантаження – за умови включення проїзної частини в спільну роботу з головними фермами після деформації головних ферм від власної ваги.

15.3.5 Зусилля в елементах проїзної частини від спільної роботи з головними фермами визначають із припущення, що в горизонтальній площині є такі закріплення: поздовжні балки до поперечних прикріплено шарнірно; пояс поперечної балки, розташований на рівні в'язей, прикріплено до поясів головних ферм жорстко, а інший її пояс – шарнірно.

Розрахунок міцності перерізів поперечних балок з урахуванням згинальних моментів M_y в горизонтальній площині, що виникають від спільної роботи елементів проїзної частини з поясами головних ферм, виконують за формулами згину в двох площинах, беручи моменти M_y зменшеними на 20 %.

У розрахунках на міцність елементів проїзної частини з плитним безбаластовим полотном необхідно враховувати зусилля в них від включення плит у спільну роботу з поздовжніми балками.

15.3.6 Зусилля в поздовжніх балках з накладками по верхньому або по обох поясах у з'єднанні з поперечними балками визначають з урахуванням нерозрізності балок і пружної податливості опор – поперечних балок. Розподіл осьового зусилля і згинального моменту між прикріпленнями поясів і стінки поздовжньої балки здійснюють з урахуванням їхньої піддатливості.

15.3.7 Поздовжні балки решітчастих прогонових будов із проїзною частиною, що не включена в спільну роботу з головними фермами, допускається, незалежно від конструктивного оформлення прикріплення їхніх поясів у примиканні до поперечних балок, розраховувати за міцністю як розрізні. Елементи прикріплення поясів і стінки поздовжніх балок до поперечних розраховують на 0,6 моменту в середині прогону розрізної балки з розподілом його згідно з 15.3.6. Під час розрахунку зазначених поздовжніх балок на витривалість згинальні моменти необхідно визначати за лініями впливу нерозрізної балки на пружноподатливих опорах.

15.3.8 Поперечні балки решітчастих прогонових будов розраховують як елементи рам, утворених поперечною балкою і приєднаних до вузлових фасонів елементами головних ферм.

Опорні перерізи поперечних балок, підвісок, стояків (а за відсутності підвісок або стояків – і розкосів головних ферм) належить перевіряти на згинальні моменти, що виникають в елементах рам, утворених зазначеними елементами, внаслідок згину поперечних балок під впливом вертикальних навантажень.

Згинальні моменти в елементах замкнутих поперечних рам для одноколійних прогонових будов залізничних мостів допускається визначати за формулами:

опорний згинальний момент у поперечній балці:

$$M_{st} = \frac{F \cdot a \cdot (B - a)}{B} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H}{2 \cdot B} \cdot \frac{I_{bal}}{I_c + I_t \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{H}{2l_m}}}, \quad (15.3)$$

згинальний момент у підвісці або стояку:

– біля краю прикріплення поперечної балки:

$$M_c = M_{st} \cdot \frac{I_c}{I_c + I_t \cdot \frac{G}{E} \cdot \frac{H}{2l_m}}, \quad (15.4)$$

– у рівні центра найближчого до поперечної балки вузла поперечних в'язей між стояками, а за їхньої відсутності у рівні центра протилежного поясу головної ферми:

$$M_{c1} = -0,5 \cdot M_c. \quad (15.5)$$

У формулах (15.3) і (15.4):

F – опорна реакція поперечної балки;

a – відстань між віссю перерізу поясу головної ферми і віссю перерізу поздовжньої балки;

B – відстань між осями поясів головних ферм;

l_m – довжина панелі головної ферми (відстань між поперечними балками);

H – розрахункова довжина підвіски або стояка з площини ферми;

I_{bal} – момент інерції перерізу бруто поперечної балки по середині її довжини;

I_c – момент інерції перерізу бруто підвіски чи стояка відносно осі, паралельної до площини головної ферми;

I_t – момент інерції вільного кручення поясу ферми, що примикає до поперечної балки.

15.3.9 У відкритих прогонових будовах із їздою по низу, поперечні рами розраховують на умовні горизонтальні сили, прикладені на рівні центру ваги перерізу поясу, що дорівнюють 2 % поздовжнього зусилля в стиснутому поясі балки або ферми.

15.4 Розрахунки з'єднань

15.4.1 Розрахунки фрикційних з'єднань, з'єднань на звичайних болтах, заклепках і пальцях виконують відповідно до додатка К.

15.4.2 Розрахунки зварних з'єднань виконують відповідно до додатку Н.

16 КОНСТРУЮВАННЯ

16.1 Загальні вимоги

16.1.1 Під час проєктування сталевих конструкцій мосту необхідно:

- враховувати можливості виготовлення конструкцій, їх транспортування і збирання;
- розподіляти конструкції на окремі монтажні заводські елементи (марки) відповідно до [ДСТУ Б В.2.6-177](#) та визначати у робочих кресленнях металевих конструкцій КМ відповідно до [ДСТУ Б А.2.4-43](#) заводське контрольне збирання марок;
- уніфікувати монтажні елементи, вузли і з'єднання;
- уніфікувати застосовуваний прокат за міцністю, товщиною і профілями;
- забезпечувати можливість складання і виконання заводських і монтажних з'єднань.

16.1.2 Під час проєктування конструкцій потрібно унеможливити незручне розташування зварюваних деталей, різкі зміни перерізу елементів, утворення конструктивних «надрізів» у вигляді обривів фасонки і ребер жорсткості або вирізів у них, що примикають до поверхні напружених частин перерізу (поясів і стінки балок, листів складених елементів тощо).

16.1.3 Для підвищення витривалості і холодостійкості конструкцій, зниження негативного впливу залишкових деформацій і напружень від зварювання потрібно передбачати заходи конструктивного і технологічного характеру (оптимальне складання і зварювання елементів; розпускання швів; попереднє згинання і місцеве підігрівання; нагрівання окремих ділянок після зварювання; повне проплавлення і викружки на кінцях деталей; механічне оброблення ділянок концентрації напружень тощо).

16.1.4 У прогонових будовах рекомендується забезпечувати нерозрізність поздовжніх балок по всій протяжності, а за наявності розривів у проїзній частині – на ділянках між ними.

16.2 Конструювання залізничних мостів

16.2.1 У залізничних мостах прогонові будови з роздільними балками і поздовжні балки проїзної частини повинні мати поздовжні в'язі по верхніх і нижніх поясах. Кріпити поздовжні в'язі до стінок балок у залізничних мостах не допускається.

«Відкриті» прогонові будови (що не мають поздовжніх в'язей по верхніх поясах ферм) і «відкрита» проїзна частина (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, що жорстко з'єднують пояси балок або ферм (наприклад, залізобетонної або сталевий 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).

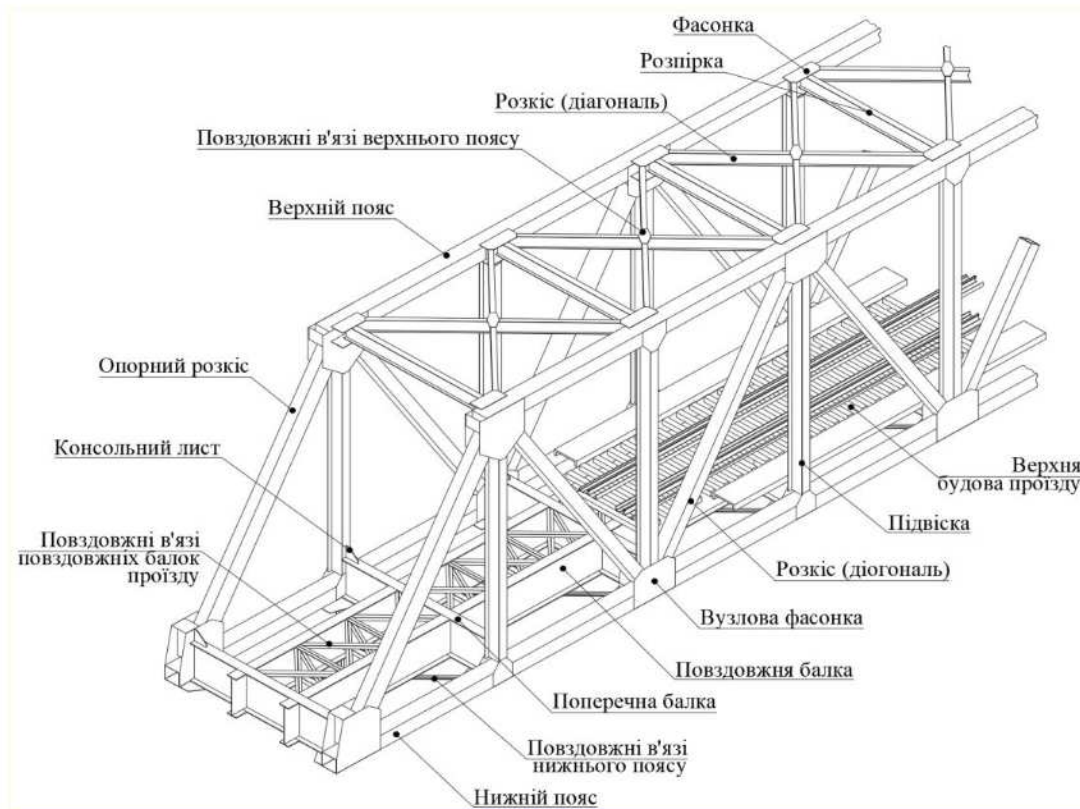


Рисунок 16.1 – Стандартна схема і назви елементів залізничної решітчастої ферми

16.2.2 Поздовжні в'язі потрібно 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 потрібно призначати 1,90 м, а між осями головних балок (ферм) за відсутності балкової клітини – 2,0 м. У разі більшої відстані між осями головних балок (ферм) потрібно 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, 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, потрібно передбачати гальмівні в'язі.

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

У прогонових будовах залізничних мостів кріпити стінки 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 ділянок 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 потрібно 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 разі мостового полотна з дерев'яними поперечинами забезпечують центроване передавання тиску поперечин на стінки головних або поздовжніх балок, а дотик поперечин до елементів поздовжніх і поперечних в'язей під дією навантаження має бути унеможливлено.

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 (крім 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 листах коробчастих елементів – 60;
- у горизонтальних листах 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.

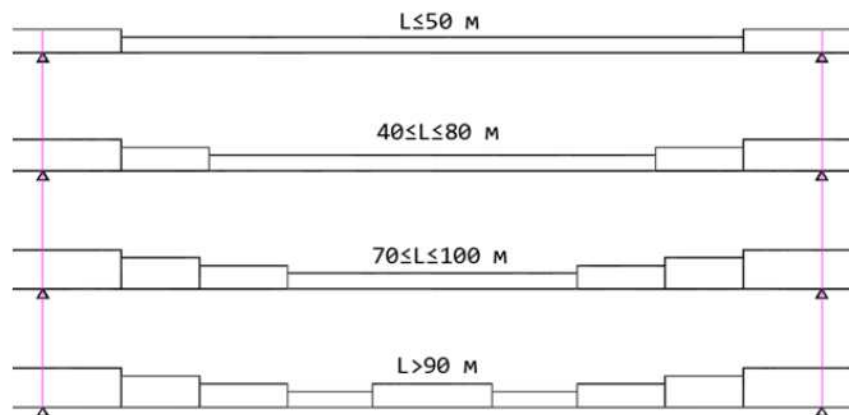


Рисунок 16.2 – Зміни товщини поясів балок по довжині прогону, L

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

16.4.3 Пакети з двох і понад поясних листів може бути утворено з розміщенням додаткового листа поясу, як з боку стінки балки, так і з зовнішнього боку. Схему обриву додаткового листа показано на рисунку 16.3.

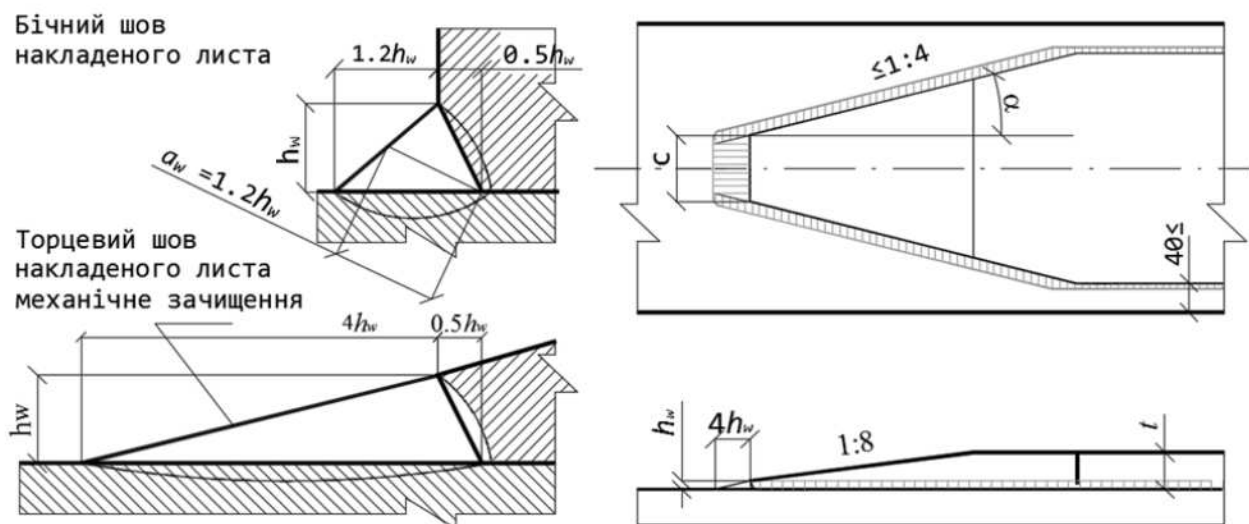
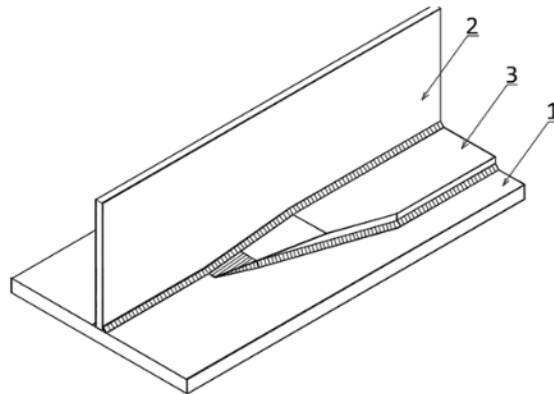


Рисунок 16.3 – Схема обриву додаткового листа

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

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

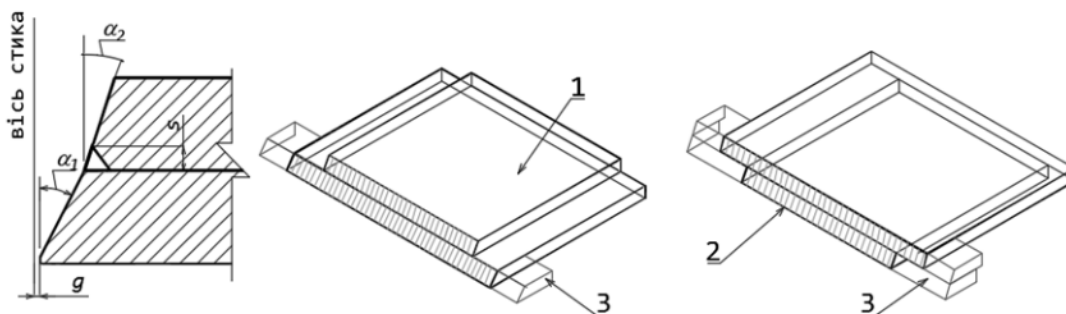


Умовні позначки:

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

Рисунок 16.4 – Схема приварювання стінки по місцю обриву додаткового листа

16.4.5 Стик пакету з двох листів потрібно виконувати з обробленням 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 оброблення 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 оброблення листів α_1 і α_2 , зварювальний зазор g і розмір шва s потрібно надавати в кресленнях КМ і, за потреби, у специфікації.

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

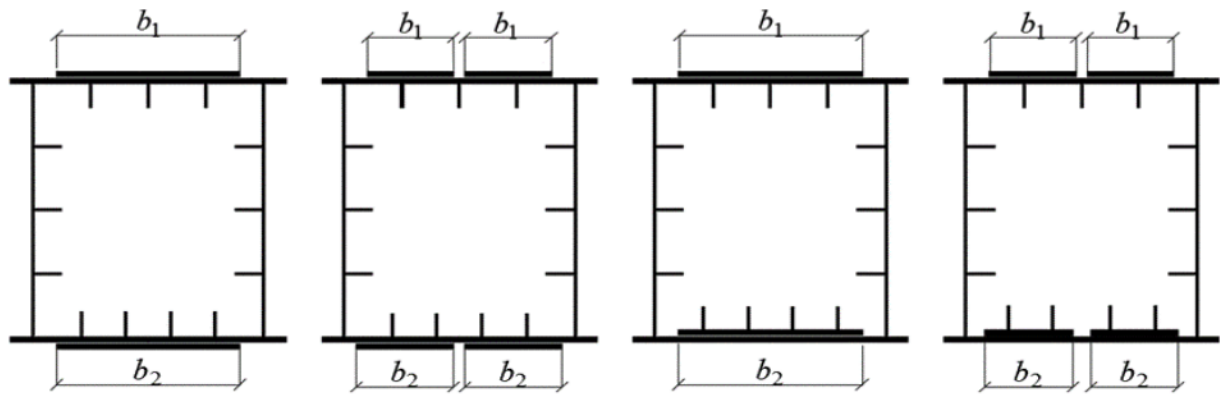


Рисунок 16.6 – Схеми посилення поясів коробок накладеними листами зовні і в середині коробок

16.5 Ребра жорсткості відкритих балок і коробок

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

16.5.2 Вимоги до жорсткості і стійкості поздовжніх і поперечних ребер надано в розділі Е.2 додатка Е.

16.5.3 Поздовжні ребра потрібно 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 їх приварюють до поздовжніх. Переривати поздовжні ребра в місцях поперечних не можна, крім місць примикання до опорних ребер.

16.5.4 Поперечне ребро потрібно приварювати до поясу головної балки кутовими швами по контуру з відношенням катетів 1:1, якщо немає інших вимог. Якщо ребро таврове, то пояс ребра обривають 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 приварюванням, а ребро має бути скошене під кутом 30° до ширини 20 мм і далі, механічно оброблене радіусом 50 мм врівень з основним металом. Дopusкається інша конструкція обриву ребра, якщо її підтверджено розрахунком витривалості.

16.5.6 Усі 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 приварення ребра мають бути замкнені по контуру. У місцях передавання зосереджених сил вирізи можна зменшити (або їх не буде зовсім), а шви можна виконувати з повним проплавленням.

16.5.7 У балках під тяги, за умови обґрунтування розрахунком на витривалість, допускається встановлювати на кінцях поперечних ребер спеціальні перехідні деталі, приварені до ребра і щільно обперті на пояс.

16.5.8 Шви приварення поздовжніх і поперечних ребер мають бути віддалені від паралельних до них стикових швів стінки на 10 товщин стінки. Віддалення від стикового шва пера або обушка кутика, який прикріплюють до стінки болтами, має становити 5 товщин стінки. Шви приварення поздовжніх і поперечних ребер не повинні перериватися на перпендикулярних 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, вважають 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 створюють канатні елементи, для зменшення розтягувальних зусиль в елементах мосту, можна виконувати у фермах, у нерозрізних балках, у прогонах і на опорних ділянках. Місця кріплення канатних елементів до балки і місця для зміни їх напрямку потрібно проектувати на основі розрахунків на міцність, стійкість і витривалість, із урахуванням вимог додатка 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 із болтовими з'єднаннями, а також стиснуто-зігнуті зварні елементи в місцях впливу зосереджених сил має бути підкріплено 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 виконати зварний шов по контуру. Матеріал прокату і зварювальних матеріалів має відповідати додатку Б.

16.7.4 Проектують зварні з'єднання несних елементів прогонових будов методом оцінювання витривалості, на основі порівняння категорій утоми відповідно до додатка 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.

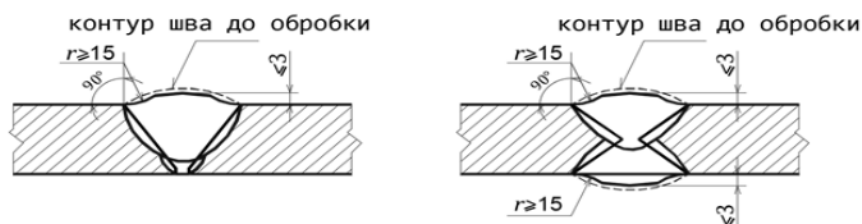


Рисунок 16.7 – Схема механічного оброблення стикових двобічних швів і швів, виконаних з одного боку

Для залізничних мостів у розтягнутих та стиснуто-розтягнутих ділянках має бути передбачено механічне оброблення швів зварювання від металу шва до основного металу радіусом не менше ніж 15 мм; ці вимоги поширюються на ділянки поперечних стикових швів стінки балок на довжині 40 % висоти розтягнутої ділянки, 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 неповну товщину листів, як показано на рисунку 16.8.

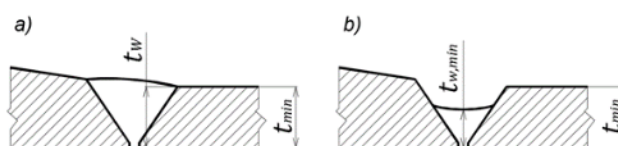


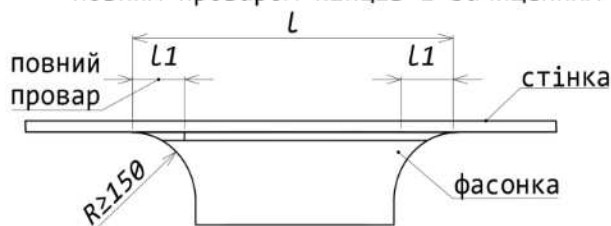
Рисунок 16.8 – Стикові шви листів на повну товщину (ліворуч) і на неповну товщину (праворуч)

16.7.7 Місця встановлення поздовжніх і поперечних в'язей розраховують за міцністю, стійкістю і витривалістю. Потрібно дотримуватись таких умов:

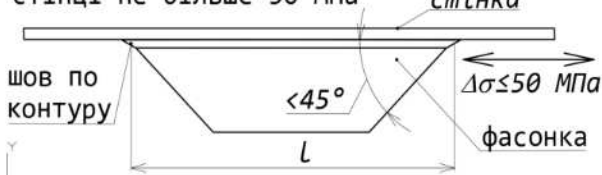
- не можна приварювати в'язі безпосередньо до поясів балок прогонових будов усіх призначень;

- приєднання поздовжніх в'язей виконують за допомогою горизонтальних фасонки, які приєднують до поясів і стінок; форми фасонки, правила зварення і механічного оброблення показано на рисунку 16.9. Для випадку, якщо 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

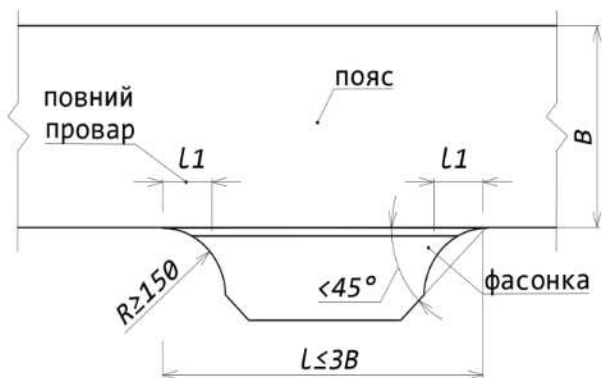


Рисунок 16.9 – Фасонки поздовжніх в'язей: приварені до стінки (ліворуч); приварені до поясу (праворуч)

- місця встановлення фасонки на стінку підкріплюють поперечними ребрами; у випадку, якщо зазначені фасонки перетинаються з поперечними ребрами жорсткості, фасонку потрібно 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 усіх інших мостів необхідність застосування механічного оброблення потрібно передбачати в проєкті з урахуванням розрахунку на витривалість;

- для коробчастих перерізів елементів залізничних ферм накладання й оброблення швів виконують відповідно до рисунка 16.10.

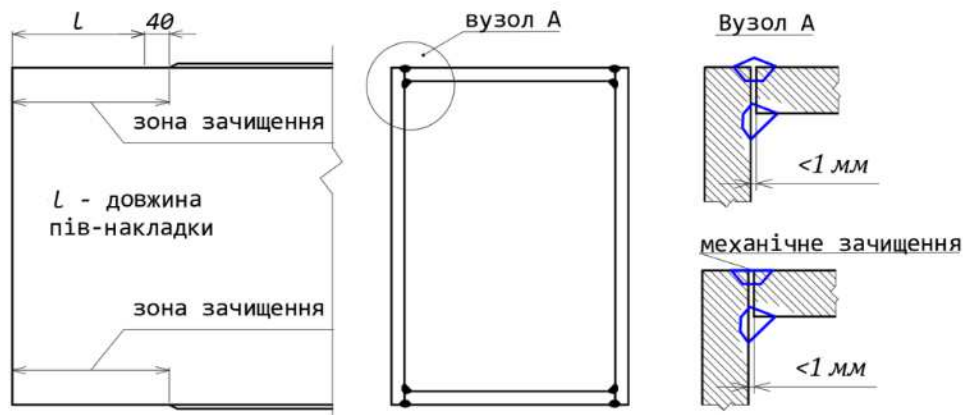


Рисунок 16.10 – Схема оброблення посилення шва зварювання коробчастого перерізу

16.7.8 У суцільнозварних прогонових будовах автодорожніх, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт, пішохідних мостів елементи в'язей, які зварюють внапуск до фасонки, потрібно 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 кріплення 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 щодо зниження концентрації напружень, а також механічне оброблення для отримання плавних переходів (радіусом не меншим ніж 5 мм) до основного металу.

16.7.10 Вимоги до проектування канатних елементів надано 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 застосовувати тільки суцільні або перфоровані горизонтальні листи. 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 із 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 потрібно виконувати у 1,7 рази довшими від проміжних, а в розтягнутих – у 1,3 рази. Кінцеві планки потрібно ставити якомога ближче до вузла.

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

16.8.3 Кількість болтів для прикріплення з одного боку планки має бути не менше ніж:

- для елементів тимчасового навантаження – 4 шт.;
- для елементів постійного навантаження – 3 шт.;
- для неробочих елементів – 2 шт.

16.9 Особливості конструкції болтозварних прогонових будов

16.9.1 У болтозварних прогонових будовах допускається застосовувати стикові і накладні компенсатори ослаблення перерізу елементів болтовими отворами. Посилення можна виконувати по один бік від листа (рисунок 16.11) або по обидва боки.

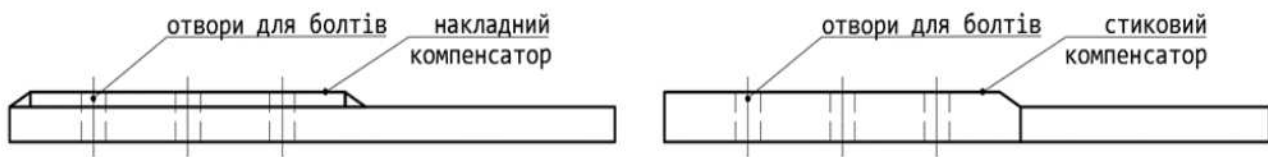


Рисунок 16.11 – Компенсатори: накладний (ліворуч); стиковий (праворуч)

На кінцях стикових компенсаторів біля стиків потрібно передбачати скоси по товщині з ухилом 1:4 і механічне оброблення. У накладних компенсаторах потрібно передбачати скоси по ширині з ухилом 1:1. Для косих швів приймають відношення катетів 1:2. Для забезпечення плавних (радіусом не менше ніж 5 мм) переходів від шва до основного металу необхідно передбачати оброблення 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, потрібно 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 решічастих болтозварних ферм прогонових будов автодорожніх, суміщених під рейковий і автомобільний транспорт, пішохідних мостів допускається застосовувати вузлові фасонки-вставки і фасонки-приставки, які з'єднують із поясами за допомогою зварювання (рисунок 16.12).

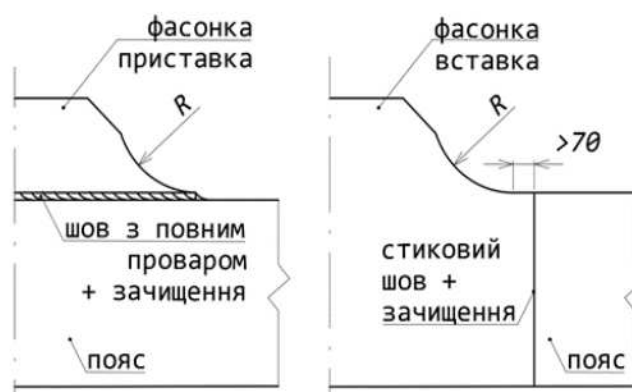


Рисунок 16.12 – Фасонки поясу

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 приймають не меншою ніж 70 мм. Для стикових швів фасонки-вставки розтягнутого і стиснуто-розтягнутого поясів належить передбачати механічне оброблення. У фасонки-приставки потрібно передбачати повне проплавлення всієї товщини і можливість його неруйнівного контролю, а також механічне оброблення кінців фасонки.

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 ділянці кріплення до головних ферм (рисунок 16.13).

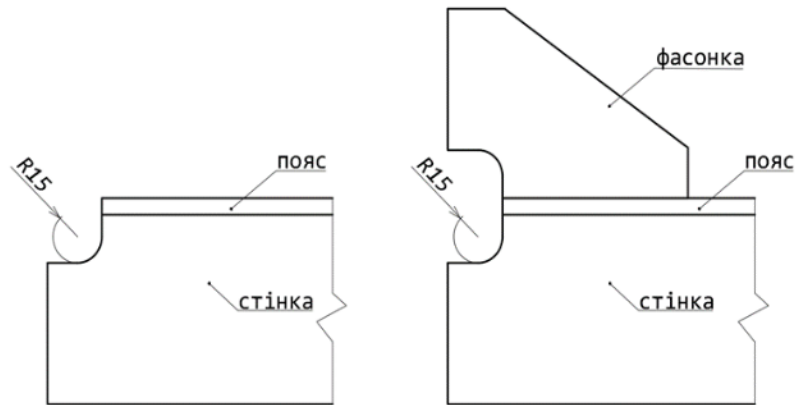


Рисунок 16.13 – Примикання поясу до стінки

Двотаврові балки, у яких пояс не доведено до кінця стінки, проєктують з дотриманням таких 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 механічне оброблення кінця поясу для плавних переходів (радіусом не меншим ніж 60 мм) до стінки (в обох площинах).

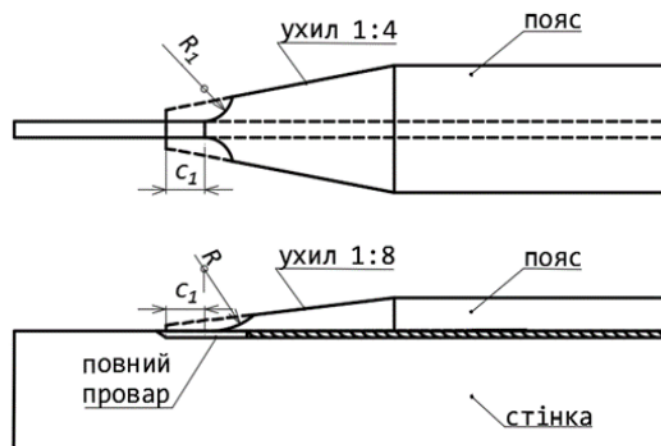


Рисунок 16.14 – Схема обриву поясу двотаврової балки

16.10 Конструкції ортотропних плит, опорних частин і деформаційних швів

16.10.1 Вимоги до проєктування ортотропних плит надано в додатку М.

16.10.2 Вимоги до конструювання, розрахунків і установлення опорних частин надано в додатку Р.

16.10.3 Вимоги до застосування й улаштування деформаційних швів надано 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 $R_{yn} \cdot m / \gamma_{M0}$.

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

Таблиця А.2 – Характеристика пружної роботи перерізу

Характерна еюра	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	
 Лінія деформацій Пружно-пластична нейтральна вісь σ_1 A B $E \cdot \varepsilon_{pl}$ R_{yn} R_{yn} $E \cdot \varepsilon_{pl}$	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: $\kappa = \frac{M_{Rd}}{W_{el} \cdot R_{yn}} \quad (A.3)$ Пружнопластичний момент опору визначають на базі епюри напружень (заштрихована) та лінії деформацій, яка проходить через точку A обмежених пластичних деформацій з боку максимальних деформацій і точку B, де розташована пружнопластична нейтральна вісь. Точку B визначають з умови рівності нулю просторового об'єму епюри напружень. M_{Rd} – розрахунковий опір згину визначають як момент просторової епюри напружень відносно пружнопластичної нейтральної осі. Обмеження щодо значення пластичних (залишкових) деформацій надано в п. В.3.2 додатка В.
Двобічна текучість	
 Лінія деформацій Пружно-пластична нейтральна вісь ε_1 A B $E \cdot \varepsilon_{pl}$ R_{yn} R_{yn} $E \cdot \varepsilon_{pl}$	

А.3.2 Пластичні деформації ε_{pl} для ребер ортотропних плит не мають 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 Пружнопластичну роботу перерізу не допускається:

- 1) якщо можлива місцева втрата стійкості стінки;
- 2) якщо немає можливості 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:	
	$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot R_{yn} \cdot m / \gamma_{M0} \quad (A.4)$	
	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:	
	$W_{pl} = a \cdot A / 2 \quad (A.5)$	
	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 таких 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, пов'язані з локальною стійкістю елементів перерізу, характеризують співвідношенням їхніх розмірів, наведено в таблиці А.6.

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

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

A.4.6 У разі одночасної дії в перерізі згинального моменту та поперечної сили, що перевищує 50 % від опору перерізу на зріз, величину пластичного моменту опору має бути зменшено залежно від величини поперечної сили відповідно до формули:

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

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.

(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 8540 ДСТУ EN 10029 ДСТУ EN 10051 ДСТУ EN 10058
Двотаври з паралельними гранями полиць	ДСТУ EN 10025-1	ДСТУ EN 10034
Двотаври гарячекатані з нахилом полиць	ДСТУ EN 10025-2	ДСТУ EN 10024
Швелери	ДСТУ EN 10025-3	ДСТУ EN 10279
Кутики рівнополичні та нерівнополичні	ДСТУ EN 10025-4	ДСТУ EN 10056-2
Таври	ДСТУ EN 10025-5	ДСТУ EN 10055
Круг	ДСТУ EN 10025-60 ,	ДСТУ EN 10060
Квадрат	[1]	ДСТУ EN 10059
Шестигранник	[2]	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.**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 наведено в таблиці Б.2, крім установлених у примітках до таблиці.

¹ Холоднокатані сталеві профілі застосовують для трапецієподібних, V та U-ребер ортотропних плит.

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_{in}		
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		0,38	23
	41 – 63	215			22
	64 – 80	215			
	81 – 100	215			
	100 – 150	195			
S275J2*	≤ 16	275	410	0,40	21
	16 – 40	265		0,42	19
	41 – 63	255			
	64 – 80	245			
	81 – 100	235			
	100 – 150	225	400		
S355J2* S355K2*	≤ 16	355	470	0,45	20
	16 – 40	345		0,47	19
	41 – 63	335			18
	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			23
	41 – 63	255			
	64 – 80	245			
	81 – 100	235			
S355N* S355NL	≤ 16	355	470	0,43	22
	16 – 40	345		0,45	21
	41 – 63	335			
	64 – 80	325			
	81 – 100	315			
S420N* S420NL	≤ 16	420	520	0,48	19
	16 – 40	400			
	41 – 63	390			
				0,50	18
	64 – 80	370			
	81 – 100	360			

Продовження Таблиці Б.2

Позначення сталевого прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент CEV	Подовженн я після розриву, %
		опір текучості, R_{yH}	тимчасовий опір, R_{mH}		
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		
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_{yH} – опір текучості (характеристичне значення): напруження за яких залишкові деформації становлять 0,2 % із забезпеченістю 95 %.					
R_{mH} – тимчасовий опір (характеристичне значення): напруження, яке дорівнює відношенню найбільшого навантаження, що передуює руйнуванню, до початкової площі зразка					

Кінець Таблиці Б.2

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 невиконанням вимоги із забезпечення ударної в'язкості за температури мінус 40 °С (див. 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 використовувати атмосферостійкий прокат відповідно до [ДСТУ EN 10025-5](#) і високоміцний прокат відповідно до [ДСТУ EN 10025-6](#) у разі якщо в проєкті доведено доцільність застосування, і якщо він задовольняє вимогам, наданим у додатку Б.4.

Примітка 5. Значення CEV надано для середніх значень умісту хімічних елементів. Для марок E36 та E40 має бути виконано умову з обмеження вуглецевого еквіваленту порахованого 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 з [ДСТУ EN 10025-2](#) класів міцності S235, S275 і S355, підкласів за ударною в'язкістю JR, J0, J2, з розкисленням FF і FN (киплячу сталь не допустима). Сталі підкласів JR до тільки для конструкцій, руйнування яких не призводить для потенційних людських жертв.

Б.2.2.2 Допускаються до застосування прокат з вуглецевих сталей згідно з [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 з [ДСТУ 8541](#) класів міцності C265, C285, C315, C325, C345 і C355 категорій 3 і вище, з гарантією зварюваності.

Б.2.2.4 Застосовувати круглі труби допускається без обмежень.

Б.2.3 Сталевий прокат порожнистих профілів

Б.2.3.1 Прокат поширюється на круглі, квадратні і прямокутні труби холодного формування й обробленого в гарячому стані відповідно до стандартів [ДСТУ EN 10219](#) і [ДСТУ EN 10210](#).

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

Таблиця Б.3 – Механічні властивості прокату порожнистих профілів

Позначення сталев о прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент, CEV	Подовженн я 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			

Кінець Таблиці Б.3

Позначення сталев прокату	Товщина, мм	Характеристичні значення опорів, МПа		Вуглецевий еквівалент, CEV	Подовженн я після розриву, %
		опір текучості, R_{yn}	тимчасовий опір, R_{m}		
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			
<u>ДСТУ EN 10210</u> 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			
S460 NH*	≤ 16	460	540	≤ 0,53** ≤ 0,55	17
S460 NLH	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 <i>N</i> або <i>M</i> значення роботи удару $KV^{20}=40$ Дж, $KV^{30}=27$ Дж. Для сталей виготовлення <i>NL</i> або <i>ML</i> 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. Потрібно контролювати: 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 підігрівання перед і після зварювання.

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

Б.3.4 Попереднє оцінювання 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 ділянок 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.

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 нормують.

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, Mn, Cr, Mo, 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 еквівалента 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, Mn, Si, Cr, 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 Якщо значення CEV, отримані за сертифікатами виробника, перевищують допустимі значення, застосовувати прокат можна тільки за умови розроблення спеціальної технології зварювання.

Б.4.3.6 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_{w1}/R_{yn}

Група	Сталевий прокат	Найменше значення R_{w1}/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 $l_t = 5,65\sqrt{A_0}$ (A_0 – площа поперечного перерізу зразка) для прокату товщиною до 100 мм надано в 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 надано 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	$R_{w,u} = R_{wt} / \gamma_{M0}$
		зріз	$R_{w,s} = 0,58 \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}$

Кінець таблиці Б.6

Зварні з'єднання	Напружений стан	Розрахункові опори зварних з'єднань
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 дротів

Відповідно до чинних стандартів зварювальні матеріали, характеристики яких надано нижче, класифіковано 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 %.

Усі 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 ділянці сплавлення з основним металом.

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 обмежено 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, надано 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		Мінімальні 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 надано 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		Мінімальні 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 надано в таблиці Таблиці 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 надано 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 надано 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 передавання 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 потрібно 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 потрібно також враховувати нерівномірність розподілу напружень. Нерівномірність має бути враховано 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 потрібно розраховувати окремо.

В.2 Коефіцієнти редукції 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).

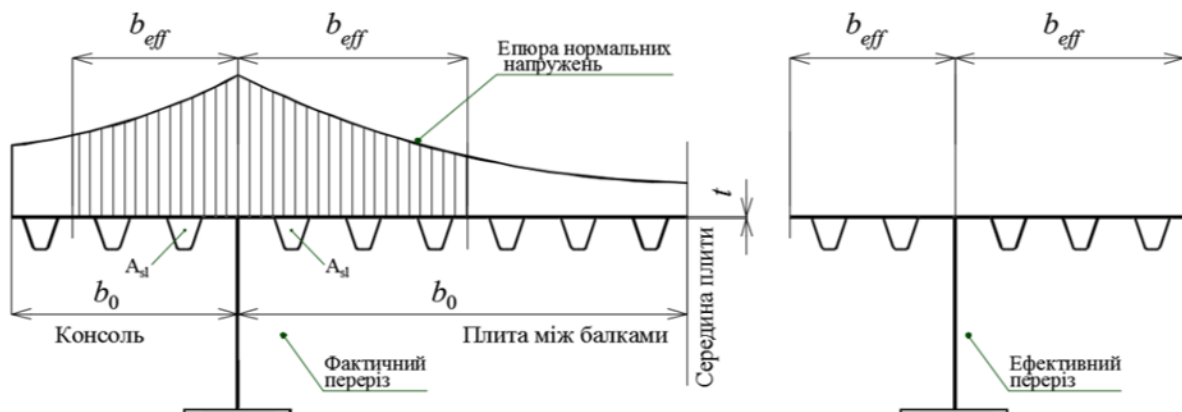


Рисунок В.1 – Фактичний і ефективний перерізи

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

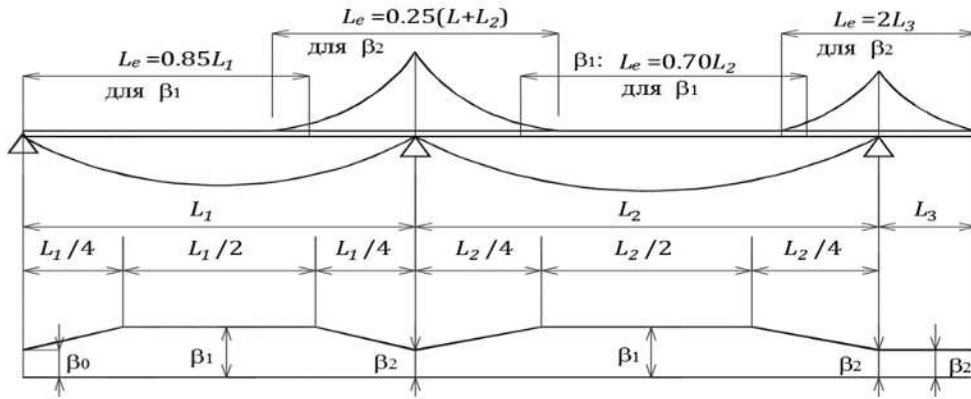
$$\kappa = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e, \quad (B.2)$$

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

де A_{st} – площа поздовжніх ребер плити на ділянці завширшки b_0 ;
 t – товщина листа настилу.

Позначення надано на рисунку В.1.

L_e – ефективна довжина прогону, яку визначають керуючись схемою, на рисунку В.2, за умови, що немає 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 редуції β залежно від коефіцієнта κ і форми ділянки епюри моментів по довжині балки визначають за формулами таблиці В.1

Таблиця В.1 – Значення коефіцієнтів редуції, β

$\kappa = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e$	Ділянка, що розглядають	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	$\beta = \beta_2 = 1 / (8,6 \cdot \kappa)$
Усі значення κ	Кінцеве обпирання	$\beta = \beta_0 = (0,55 + 0,025 / \kappa) \cdot \beta_1$, але $\beta_0 < \beta_1$
Усі 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 – Кількісне оцінювання 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 оцінювання нерівномірності розподілу нормальних напружень по ширині поясів балки жорсткості передбачає пружну роботу плит.

В.3 Коефіцієнти редукції на основі просторових розрахунків

В.3.1 Ефективну ширину плити b_{eff} під час розрахунків у пружнопластичній стадії знаходять за формулою:

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

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.

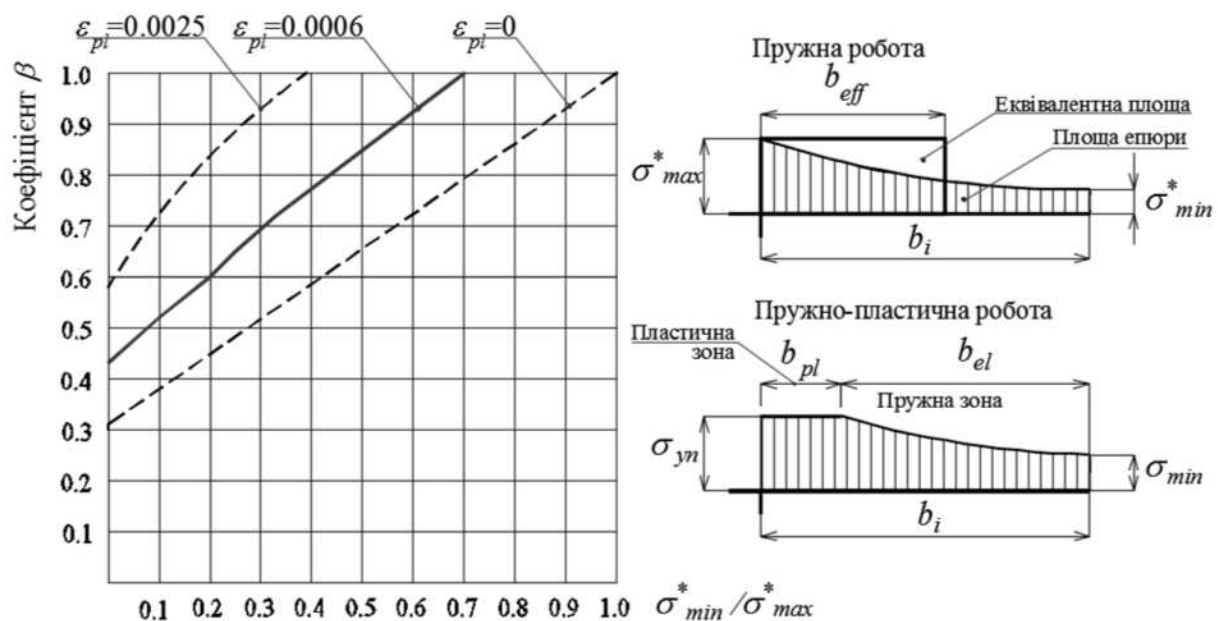


Рисунок В.3 – Коефіцієнти редукції для пружнопластичної роботи перерізу із сталі класу С390

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:

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

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

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

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

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

отримане в пружнопластичній 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 таку, що дорівнює $\varepsilon_{pl} = 0,0006$; 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, що дорівнює 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 разі вільного кручення (Сен-Венана) надано в таблиці Г.1.

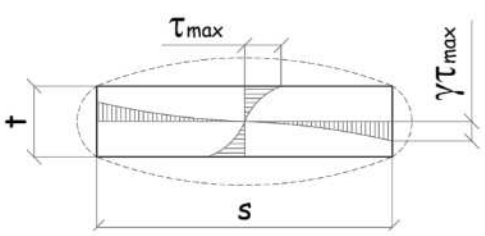
Таблиця Г.1 – Формули для розрахунків дотичних напружень

Тип перерізу	Момент інерції, I_t	Момент 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, 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 разі стисненого кручення напруження потрібно знаходити для відкритих перерізів. Для розрахунків напружень у перерізі потрібно 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 НА СТІЙКІСТЬ СТРИЖНІВ І СПОРУД ЗАГАЛОМ

Д.1 Основні положення

Плоска форма втрати стійкості пов'язана зі згином елемента у площині найменшої жорсткості. Розрахунки на стійкість виконують для центрального стиснення і позacentрового 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 на стійкість виконують для центрального і позacentрового 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 певних, наприклад аркових мостів, виконують уточнені розрахунки споруди загалом. Ці розрахунки виконують для просторової розрахункової схеми споруди для 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 загалом.

Критична сила, критичний згинальний момент або крутильний момент – найменша сила стискання, 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 спричинює перехід з одної форми на іншу. Це навантаження називають критичним. Розрахунки на стійкість 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 контролюють напруження в найбільш навантаженій фібрі. Навантаження, що спричинює такий стан, називають критичним. Розрахунки на стійкість другого роду виконують в припущенні нелінійної залежності між навантаженнями і деформаціями за пружної роботи матеріалу.

Нижче наведено 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 поздовжнього згину у розрахунках стійкості стрижнів і балок

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

Група λ_y, λ_z	Коефіцієнти $\varphi, \varphi_y, \varphi_z$ 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 $\varphi, \varphi_y, \varphi_z$ 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

Інужність $\lambda_y, \lambda_{y'}$	Коефіцієнти $\varphi, \varphi_y, \varphi_b$ для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності від С250 до С345													
	для приведенного відносного ексцентриситету e_{rel}													
$\lambda_y, \lambda_{y'}$	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

Група класу λ_y, λ_z $\lambda_{y1}, \lambda_{z1}$	Коефіцієнти $\varphi, \varphi_y, \varphi_z$ для розрахунку стійкості стрижнів та балок із сталі класу міцності більше С345 для приведення 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)	0,14(0,13)	0,14(0,13)	0,13(0,12)	0,12(0,11)	0,11(0,10)	0,11(0,09)	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	0,09	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	0,05	0,05			

Примітка. Значення коефіцієнтів $\varphi, \varphi_y, \varphi_z$ для двох ступенів проектування 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

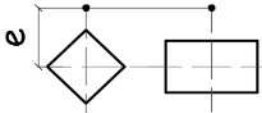
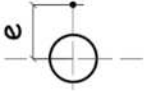
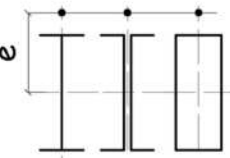
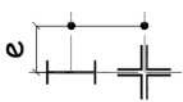
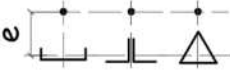
Значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} знаходять на основі відносних ексцентриситетів e_{rel} , з урахуванням коефіцієнта форми перерізу η і форми епюри моментів по довжині стрижня.

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:

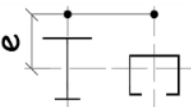
$$e_{ef} = \eta \cdot e_{rel}. \quad (Д.1)$$

Значення коефіцієнтів η визначають за формулами таблиці Д.4.

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

Схеми перерізів	типів	$\frac{A_f}{A_w}$	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	$0,75 + 0,05 \cdot e_{rel} + 0,01 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		
		0,50	$0,50 + 0,10 \cdot e_{rel} + 0,02 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	1,00		
		$\geq 1,0$	$0,25 + 0,15 \cdot e_{rel} + 0,03 \cdot (5 - e_{rel}) \cdot \bar{\lambda}$	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		

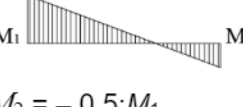
Кінець таблиці Д.4

Схеми перерізів	типів	$\frac{A_f}{A_w}$	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	

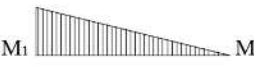
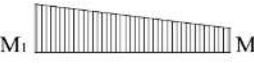
A_f – площа полиць (горизонтальних елементів);
 A_w – площа стінок (вертикальних елементів);
 $e_{rel} = \frac{M}{N} \cdot \frac{A}{W_c}$ – відносний ексцентриситет;
 M – найбільше значення згинального моменту по довжині стрижня;
 $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_{yn} / E}$ – умовна гнучкість.

Д.3.2 Для стиснутих стрижнів з двома осями симетрії значення приведених відносних ексцентриситетів e_{ef} визначають з урахуванням дійсної епюри моментів залежно від ефективного ексцентриситету $e_{ef.M1}$ і умовної гнучкості $\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{R_{yn} / E}$, 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} залежно 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} залежно від ефективного ексцентриситету $e_{ef.M}$										
		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 збігається з площиною згину, знаходять за таблицею Д.6.

Таблиця Д.6 – Розрахункові значення моменту в перерізах стрижня з однією віссю симетрії, що збігається 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 потрібно 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 збігається 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 $y-y$ за умови $I_x > I_y$ зі згином у площині найменшої жорсткості знаходять за формулою:

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

Д.4.2.2 Критична сила $N = N_{cr}$ для згинально-крутильної втрати стійкості для стрижня, підданого стисканню зі згином і позацентровому стисканню в площині симетрії $y-y$ 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

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

Д.4.2.3 Критична сила $N = N_{cr}$ для згинально-крутильної втрати стійкості для стрижня, підданого стисканню зі згином і позацентровому стисканню 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

$$\begin{aligned} a &= (-r^2 - \delta_x - \delta_y + k_1 \cdot x_q^2 + k_1 \cdot y_q^2), \\ b &= N_x \cdot (r^2 + \delta_x + \delta_y - k_1 \cdot y_q^2) + N_y \cdot (r^2 + \delta_x + \delta_y - k_1 \cdot x_q^2) + r^2 \cdot N_\omega, \\ c &= N_x \cdot N_y \cdot (-r^2 - \delta_x - \delta_y) - r^2 \cdot (N_\omega \cdot N_x + N_\omega \cdot N_y), \\ d &= r^2 \cdot N_x \cdot N_y \cdot N_\omega. \end{aligned} \quad (\text{Д.7})$$

Д.4.2.4 Критичний момент M_{cr} для згинально-крутильної втрати стійкості від рівномірного навантаження балки інтенсивністю q для згину в площині симетрії $y-y$ за умови $I_x > I_y$ 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 разі кручення;

k_1 – коефіцієнт закріплення кінців: $k_1 = 1$ у разі 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;

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

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

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:

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

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

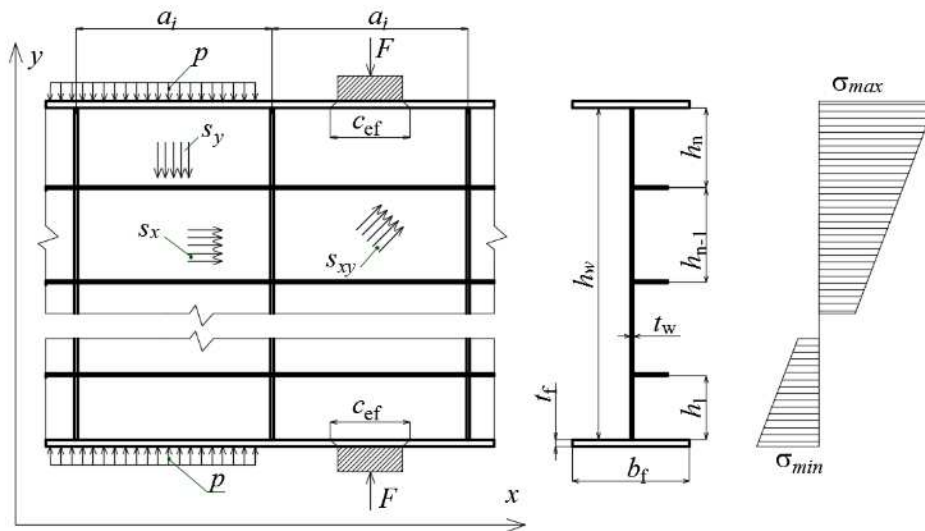
Прикладання навантаження	Максимальне значення відношення l_{ef} / t_f
До верхнього поясу	$l_{ef} / b_f \leq \left[0,35 + 0,0032 \cdot b_f / t_f + (0,76 - 0,02b_f / t_f) b_f / h \right] \cdot \sqrt{E / R_{yn}}$
До нижнього поясу	$l_{ef} / b_f \leq \left[0,57 + 0,0032 \cdot b_f / t_f + (0,92 - 0,02b_f / t_f) b_f / h \right] \cdot \sqrt{E / R_{yn}}$
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 із закріпленням поясу на високоміцних болтах табличні значення l_{ef} / b_f може бути збільшено в 1,2 рази; Для балок із відношенням $b_f / t_f < 15$, у формулах потрібно приймати $b_f / t_f = 15$.	

Додаток Е

(обов'язковий)

**РОЗРАХУНКИ НА МІСЦЕВУ СТІЙКІСТЬ ПЛАСТИНОК,
РЕБЕР ЖОРСТКОСТІ Й ОРТОТРОПНИХ ПЛИТ****Е.1 Розрахунки на місцеву стійкість стінок балок, підкріплених ребрами жорсткості****Е.1.1** Визначення діючих зусиль у відсіках стінки

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

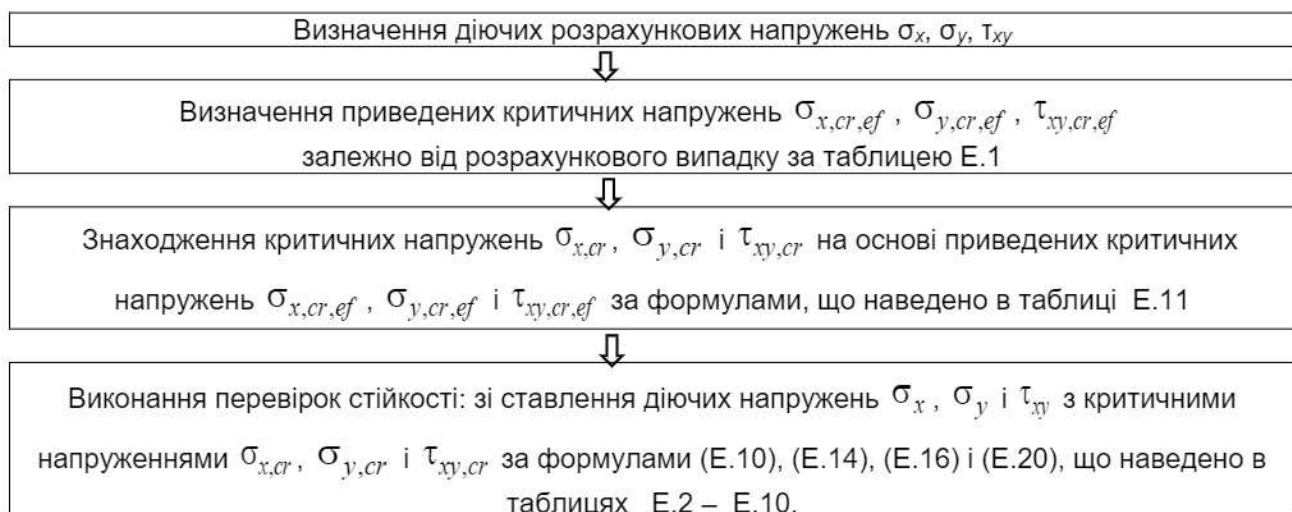
(3) Основні позначення:

N – поздовжня сила (додатна у разі 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 розглядають;

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 разі стиснення) і дотичні (додатні завжди);

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

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

d_i – менша зі 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 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 :

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

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

– у разі передавання навантаження безпосередньо через пояс балки або через рейку і пояс:

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

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

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

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

– у разі передання тиску від колеса автомобіля за формулою (Е.5), відповідно до рисунку Е.3.

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

Рисунок Е.3 – Схема передавання тиску від колеса автомобіля

На рисунку Е.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 $\frac{1}{2}$ 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 показано фрагмент стінки, поділений поперечними та поздовжніми ребрами на відсіки й епюру нормальних напружень σ_x від дії в перерізі сил M і N . Напруження границь i -того відсіку від дії глобальних і локальних дій потрібно розраховувати за формулами: (Е.8) для нормальних напружень, (Е.9) – для дотичних.

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

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

Е.1.2 Вибір розрахункового випадку

(1) Розрахункові випадки для оцінювання 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 оцінювання стійкості відсіків стінки

Критерії віднесення до розрахункового випадку				№№ розрахункових випадків
Напружений стан стінки	Кількість поздовжніх ребер на стінці	Положення відсіку по висоті стінці	Напружений стан відсіку ¹	
Стиснуто-розтягнута стінка вздовж балки	Без ребер	Крайній	Стиснуто-розтягнутий	PB 1
	Одне ребро	Крайній	Пояс розтягнутий	PB 2
		Крайній	Пояс стиснутий	PB 3
	Два і більше ребер	Крайній	Розтягнутий	PB 4
		Проміжний	Розтягнутий	PB 5
		Проміжний	Стиснуто-розтягнутий	PB 6
		Проміжний	Стиснутий	PB 7
		Крайній	Стиснутий	PB 8
Стиснута стінка	–	–	–	PB 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 на стійкість відсіків стінки виконують за формулами таблиць Е.2 – Е.10, де надано формули для розрахункових випадків PB1...PB.9, згідно з переліченими в таблиці Е.1.

Таблиця Е.2 – Розрахунковий випадок PB1

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

Таблиця Е.3 – Розрахунковий випадок PB2

$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\omega_1 \cdot \sigma_{x,cr}} + \frac{\sigma_y}{\sigma_{y,cr}}\right)^2 + \left(\frac{0,9 \cdot \tau_{xy}}{\omega_2 \cdot \tau_{xy,cr}}\right)^2} \leq 1,0$ $\omega_1 \rightarrow$ таблиця Е.13 як функція від ξ; $\omega_2 = 1$		(Е.10)
Приведені критичні напруження	$\sigma_{x,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \chi \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0$; $\varepsilon \rightarrow$ таблиця Е.20 як функція від μ і ξ	(Е.11)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \varsigma \cdot \chi \cdot z \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a}\right)^2 \cdot E$ $\varsigma = 1,0$ або $\varsigma \rightarrow$ таблиця Е.21 за умови $\rho = 0,35$; $\chi = 1,0$; $z \rightarrow$ таблиця Е.22	(Е.12)
	$\tau_{xy,cr,ef} = 0,476 \cdot 10^{-6} \cdot \chi \cdot \left(1020 + \frac{760}{\mu_1^2}\right) \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{d}\right)^2 \cdot E$ $\chi = 1,0$ 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.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 $\sigma_{y,cr,ef}$ потрібно 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)
	$\sigma_{y,cr,ef} = 9,05 \cdot 10^{-5} \cdot \varsigma \cdot \chi \cdot z \cdot \left(\frac{100 \cdot t_i}{a} \right)^2 \cdot E$ $\varsigma = 1,0 \text{ або } \varsigma \rightarrow \text{таблиця Е.21}; \chi \rightarrow \text{таблиця Е.15}; z \rightarrow \text{таблиця Е.22}$	(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)

У таблицях Е.2 – Е.10 є посилання на коефіцієнти β , γ , ω_1 , χ , ε , ς , z , i , δ , розрахунок яких наведено в пункті Е.1.5.

Е.1.4 Розрахунок критичних напружень

Приведені критичні напруження $\sigma_{x,cr,ef}$, $\sigma_{y,cr,ef}$, $\tau_{xy,cr,ef}$ знайдено 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, спричинені 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 надано формули для визначення поздовжніх критичних напружень вздовж осі x . Для визначення критичних поперечних напружень у формулах потрібно 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 потрібно а 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 побудовано графік на основі формул таблиці Е.11.

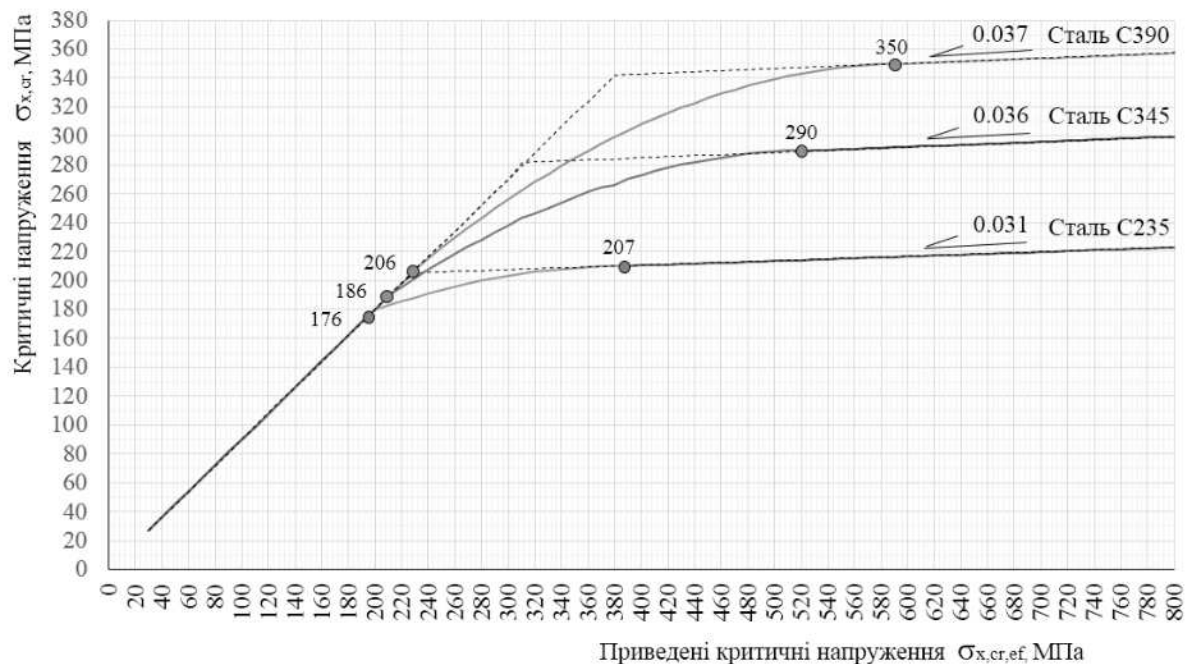


Рисунок Е.4 – Графік для критичних напружень $\sigma_{x,cr}$ для $m = 1,0$

Е.1.5 Таблиці для розрахунку параметрів β , γ , ω_1 , χ , ε , ζ , 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 обмежено 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 ζ 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 закріплено мостові бруси	0,3
2	До поясу шпильками прикріплено з/б плиту на дерев'яних підкладках	0,5
3	Пояс вільний від закріплень	0,8
4	До поясу приєднано ортотропну плиту	2,0
5	До поясу приєднано збірну залізобетонну плиту	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 залізобетонної 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 ξ

ξ	Значення коефіцієнта ξ 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 ζ для розрахунку напружень $\sigma_{y,cr,ef}$

μ	Значення коефіцієнта ζ 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 $\sigma_{y,cr,ef}$

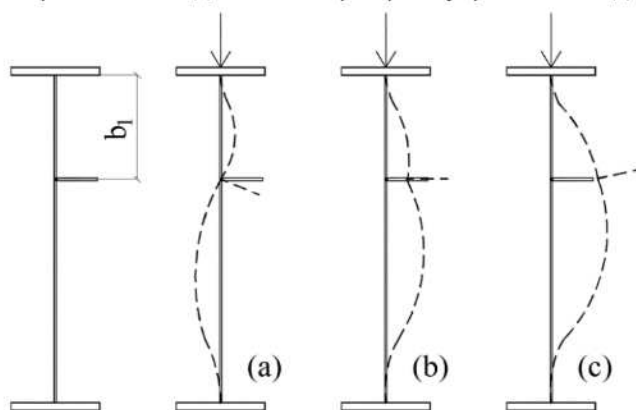
Положення пластинки	Значення коефіцієнта δ за значень a/h_{ef}							
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0
що примикає до розтягнутого поясу	1240	1380	1520	1650	1820	2240	3860	6300
Проміжна	920	970	1020	1060	1100	1190	1530	2130

Е.2 Вимоги до ребер

Основні вимоги до поздовжніх ребер :

- 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.

**Рисунок Е.5** – Моделі деформації стінки з ребрами

Достатність жорсткості на згин поздовжніх ребер оцінюють залежно від моделі деформації стінки з ребром (рисунок Е.5). Для деформації по типу (а) стінку утримує ребро на місці від деформації з площини, і для цього має виконуватися умова:

$$\gamma_s \geq \gamma_s^*, \quad (\text{Е.21})$$

де

$$\gamma_s = 10,9 \cdot \frac{I_{sl,1}}{h_w t_w^3}, \quad (\text{E.22})$$

$$\gamma_s^* = \left(\frac{a}{h_w} \right)^3 + 210 \cdot \left(0,3 - \frac{b_1}{a} \right) \quad \text{для } \frac{b_1}{a} \leq 0,3, \quad (\text{E.23})$$

$I_{sl,1}$ – момент інерції ребра, який знаходять найближче до навантаженого поясу, з ділянками стінки по $15 \cdot t_w \cdot \varepsilon$; де $\varepsilon = \sqrt{235 / R_{yn}}$;

h_w і t_w – висота і товщина стінки;

a – відстань між поперечними ребрами.

Е.2.2 Перевірка крутильної стійкості ребра

(1) Перевірку таврового ребра на крутильну втрату стійкості відносно листа настилу (рисунок Е.6) виконують за формулою:

$$\sigma_{x,c} \leq \varphi_0 \cdot m \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}, \quad (\text{E.24})$$

де φ_0 – зменшувальний коефіцієнт втрати стійкості; знаходять згідно з розділом Д.2, залежно від гнучкості;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1);

R_{yn} – опір текучості; характеристичне значення;

γ_{M0} – коефіцієнт надійності (таблиця 7.3).

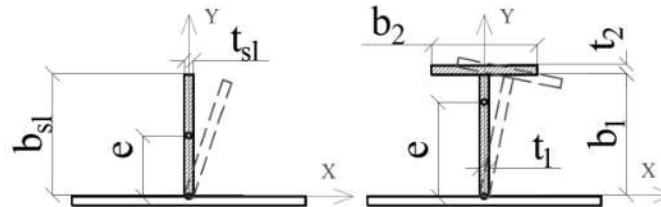


Рисунок Е.6 – Перерізи поздовжніх ребер

(2) Розрахункову гнучкість таврового ребра λ_0 під час кручення знаходять за формулою:

$$\lambda_0 = l \cdot \sqrt{\frac{I_p}{h_1^2 \cdot I_y + I_\omega + 0,04 \cdot l^2 \cdot I_t}}, \quad (\text{E.25})$$

де l – прогін поздовжнього ребра між поперечними балками;

$I_p = I_x + I_y + A_{sl} \cdot e^2$ – полярний момент інерції відносно листа настилу;

b_1 і t_1 – висота і товщина стінки ребра;

b_2 і t_2 – ширина і товщина полиці ребра;

e – відстань від центру ваги тавра до листа настилу;

I_x і I_y – моменти інерції відносно осей x і y ;

$I_\omega = \frac{b_2^3 \cdot t_2^3}{144} + \frac{b_1^3 \cdot t_1^3}{36}$ – секторіальний момент інерції для стисненого кручення;

$I_t = \frac{1}{3} \cdot (b_2 \cdot t_2^3 + b_1 \cdot t_1^3)$ – момент інерції перерізу тавра для чистого кручення;

$A = \sum b_i \cdot t_i$ – площа тавра.

(3) Допускається, перевірку крутильної стійкості стисненого ребра виконувати за формулою:

$$\sigma_{cr} \geq \theta \cdot \sigma_{x,c}, \quad (\text{E.26})$$

де σ_{cr} – пружні критичні напруження;

$\theta = 2$ для перерізів класу 1 (пружна робота);

$\sigma_{x,c}$ – напруження стиску, допускається приймати таким, що дорівнює опору текучості R_{yn}

$$\sigma_{cr} = G \cdot \frac{I_t}{I_p} = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdot \frac{I_t}{I_p}. \quad (\text{E.27})$$

Якщо прийняти

$$\sigma_{cr} = 2 \cdot \sigma_{x,c}, \text{ то: } \frac{I_t}{I_p} \geq 5,2 \cdot \frac{\sigma_{x,c}}{E}, \quad (\text{E.28})$$

де $I_p = I_x + I_y + A_{sl} \cdot e^2$ – полярний момент інерції відносно листа настилу;

I_t – момент інерції вільного кручення.

Для штабового ребра обмеження відношення ширини ребра b_{sl} до товщини t_{sl} для запобігання скручуванню від втрати стійкості залежно від напруження стиску $\sigma_{x,c}$ оцінюють нерівністю:

$$b_{sl} / t_{sl} \leq \sqrt{E / (5,2 \cdot \sigma_{x,c})}.$$

Таблиця Е.24 – Напруження стиску $\sigma_{x,c}$ залежно від відношення b_{sl} до t_{sl}

$\sigma_{x,c}$	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420
b_{sl} / t_{sl}	14,2	13,5	13,0	12,5	12,0	11,6	11,2	10,9	10,6	10,3	10,0	9,8

Е.2.3 Перевірка згинальної стійкості ребра

(1) Перевірку поздовжнього ребра на стійкість згину з площини стінки виконують як для стрижня відповідно до розділу 10.

(2) У склад перерізу ребра потрібно включати ділянки стінки шириною по $15 \cdot t_w \cdot \varepsilon$ товщин в кожний бік, де $\varepsilon = \sqrt{235 / R_{yn}}$, t_w – товщина стінки. Розрахункову довжину стрижня приймають рівною відстані між поперечними балками.

Е.2.4 Вимоги до жорсткості поперечного ребра

(1) Згинальна жорсткість поперечного ребра має забезпечити утримання стінки головної балки від деформації з площини.

(2) Якщо поперечні ребра утримують стиснутий відкритий пояс головних балок від втрати стійкості з площини стінки, жорсткість поперечних ребер визначають відповідно до розділу 10.

(3) Опорні поперечні ребра, на які діють осьові сили, потрібно перевіряти на стійкість з площини стінки як стрижні з розрахунковою висотою рівною висоті стінки, включаючи в склад перерізу ребра ділянки стінки шириною по $15 \cdot t_w \cdot \varepsilon$ товщин у кожний бік, де $\varepsilon = \sqrt{235 / R_{yn}}$, t_w – товщина стінки. Розрахунки виконують відповідно до розділу 10.

(4) Згинальну мінімальну жорсткість I_{cr} рядового поперечного ребра для утримання стінки допускається приймати за формулами:

для ділянок стінки по $15 \cdot t_w \cdot \varepsilon$;

$$\text{для } a/h < \sqrt{2} \quad I_{cr} \geq \frac{1,5 \cdot h^3 \cdot t^3}{a^2}, \quad (\text{E.29})$$

$$\text{для } a/h \geq \sqrt{2} \quad I_{cr} \geq 0,75 \cdot h \cdot t^3, \quad (\text{E.30})$$

де a – відстань між поперечними ребрами;

h – висота ребра;

t – товщина стінки.

Е.3 Розрахунки на стійкість ортотропних плит

Е.3.1 Перевірка достатності поперечних балок стиснутих плит

Критерієм достатності жорсткості поперечної балки є розрахункова довжина поздовжніх ребер, обмежена відстанями між поперечними балками.

Оцінюють за формулою:

$$I_s \geq I_{\min}, \quad (\text{E.31})$$

де I_s – момент інерції повного перерізу поперечної балки, в склад якої включені частки настилу по $b = 14 \cdot t \cdot \varepsilon$ у кожний бік від балки; t – товщина листа настилу; $\varepsilon = \sqrt{235 / R_{yn}}$ (в МПа);

$I_{\min}$ – мінімально можливий момент інерції повного перерізу балки, знаходять за формулою:

$$I_{\min} = \alpha \cdot \psi \cdot (k + 1) \cdot (L / l)^3 \cdot I_{sl} \cdot \frac{\sigma_{xc}}{\sigma_{x,cr,tf}}, \quad (\text{E.32})$$

де σ_{xc} – розрахункові напруження стиску плити (можна приймати за величиною, що дорівнює опору текучості R_{yn});

$\sigma_{x,cr,tf}$ – ефективні критичні напруження, можна приймати за величиною, що дорівнює Ейлеревим напруженням за формулою:

$$\sigma_{cr,E} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{sl}}{A_{sl} \cdot l^2}, \quad (\text{E.33})$$

L – прогін поперечної балки;

l – відстань між поперечними балками;

I_s – момент інерції поперечної балки;

A_{sl} – площа повного перерізу поздовжнього ребра;

I_{sl} – момент інерції повного перерізу поздовжнього ребра;

k – кількість поздовжніх ребер;

ψ – коефіцієнт: 0,055 для $k = 1$; 0,15 для $k = 2$; 0,2 для $k \geq 3$;

α – коефіцієнт, який приймають за таблицею Е.25 як функцію від $\omega = \sigma_{xc} / R_{yn}$; для напружень, що дорівнюють R_{yn} , коефіцієнт $\alpha = 2,025$.

Таблиця Е.25 – Коефіцієнт α

ω	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0
α	0	0,016	0,053	0,115	0,205	0,320	0,462	0,646	0,872	1,192	1,470	2,025

Допускається значення $I_{\min}$ приймати в запас, за формулою:

$$I_{\min} = 0,4 \cdot (k+1) \cdot (L/l)^3 \cdot I_{sl}. \quad (\text{Е.34})$$

Е.3.2 Перевірка стійкості плити між поперечними балками

Перевірку стійкості під час стискання плити загалом між поперечними балками виконують за формулою:

$$\sigma_{x,c} \leq \varphi_0 \cdot m \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}, \quad (\text{Е.35})$$

де σ_{xc} – розрахункові напруження стиску плити; рекомендується приймати такими, що дорівнюють опору текучості R_{yn} ;

φ_0 – зменшувальний коефіцієнт втрати стійкості, знаходять за таблицею Е.26 залежно від гнучкості;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1);

R_{yn} – опір текучості; характеристичне значення;

γ_{M0} – коефіцієнт надійності (таблиця 7.3).

Таблиця Е.26 – Значення коефіцієнта φ_0

λ_0	41	44	50	53	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
C235	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,83	0,73	0,64	0,59	0,53	0,47	0,41	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,21	0,20
C345	1,00	1,00	0,92	0,87	0,76	0,64	0,56	0,50	0,44	0,39	0,34	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14
C390	1,00	0,96	0,88	0,83	0,72	0,59	0,49	0,43	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11

Гнучкість λ_0 визначають за формулою:

$$\lambda_0 = \frac{l_{ef}}{\sqrt{\xi}} \cdot \sqrt{\frac{A_{sl}}{I_{sl} + \frac{b_1 \cdot t^3}{10,9} \left[2 \cdot \theta \cdot \left(\frac{l_{ef}}{L} \right)^2 + \left(\frac{l_{ef}}{L} \right)^4 \right]}}, \quad (\text{Е.36})$$

де $l_{ef} = l \cdot \sqrt{1/\omega}$ – розрахункова довжина поздовжніх ребер; у разі недостатньої жорсткості поперечних балок може бути більшою за відстань між балками;

l – відстань між поперечними балками;

L – прогін поперечних балок;

ω – знаходять за таблицею Е.25 як функцію від α :

$$\alpha = \frac{1}{\psi \cdot (k+1) \cdot I_{sl}} \cdot (L/l)^3 \cdot I_s, \quad (\text{Е.37})$$

коефіцієнт α оцінює жорсткість поперечної балки. Якщо поперечна балка має достатню жорсткість: $\omega = 1,0$, а ефективна довжина поздовжнього ребра дорівнює відстані між поперечними балками;

ξ – коефіцієнт, що враховує деформацію листа з ребрами з площини; визначають за таблицею Е.27, залежно від відносних деформацій f/i ;

f – деформація з площини плити між поперечними балками;

$i = \sqrt{I_{sl} / A_{sl}}$ – радіус інерції поздовжнього ребра.

Таблиця Е.27 – Визначення коефіцієнта ξ

f/i	0	0,005	0,01	0,05	0,10
ξ	1,0	0,88	0,75	0,70	0,66

$$\Theta = 1 + \frac{5,5 \cdot I_t}{b_1 \cdot t^3}, \quad (\text{Е.38})$$

де I_t – момент інерції перерізу поздовжнього ребра для вільного кручення;

t – товщина листа настилу;

b_1 – відстань між поздовжніми ребрами.

$l_{ef,a} = l_{ef} / \sqrt{\xi}$ – наведена довжина ребра з урахуванням стрілки згину (деформації з площини плити). Наведена довжина може перевищувати відстань між поперечними балками.

Е.3.3 Допускається виконувати перевірку стійкості плити з площини листа настилу за критерієм втрати стійкості окремого ребра. У цьому випадку розрахунок виконують у запас. Перевірку виконують згідно з розділом 10. Гнучкість ребра визначають для розрахункової довжини $l_{ef} = l$, де l – відстань між поперечними балками.

Додаток Ж
(обов'язковий)
РОЗРАХУНКИ НА ВИТРИВАЛІСТЬ

Ж.1 Сфера застосування

Ж.1.1 Оцінку витривалості для елементів і з'єднань мостів всіх систем і призначень виконують згідно з цим додатком. Оцінювання ґрунтується на порівнянні розмаху діючих розрахункових напружень, з граничним розмахом напружень, встановленим для характерних елементів, вузлів і з'єднань.

Ж.1.2 Оцінку витривалості залізничних мостів рекомендується виконувати згідно з цим додатком. Отримані результати порівнюють із результатами, отриманими на основі розділу 15.3. У підсумку рекомендовано приймати більш жорстке значення.

Ж.2 Оцінювання витривалості

Ж.2.1 Оцінюють витривалість з'єднання (деталі) за формулами:

$$\text{для нормальних напружень } \Delta\sigma \leq \Delta\sigma_{R,n} / \gamma_{fM}, \quad (\text{Ж.1})$$

$$\text{для дотичних напружень } \Delta\tau \leq \Delta\tau_{R,n} / \gamma_{fM}, \quad (\text{Ж.2})$$

де $\Delta\sigma$ – розмах напружень від діючих розрахункових навантажень;

$\Delta\sigma_{R,n}$ і $\Delta\tau_{R,n}$ нормальні і дотичні напруження порогу витривалості елемента залежно від кількості циклів навантажень n ;

γ_{fM} – коефіцієнт надійності з оцінки порогу витривалості:

– 0,85 для елементів, руйнування яких не призведе до руйнування мосту;

– 1,00 для елементів, руйнування яких призведе до руйнування мосту.

Ж.2.2 Для комбінації одночасної дії нормальних і дотичних напружень перевірку витривалості виконують за формулою:

$$\left(\gamma_{fM} \cdot \frac{\Delta\sigma_{R,n}}{\Delta\sigma_c} \right)^3 + \left(\gamma_{fM} \cdot \frac{\Delta\tau_{R,n}}{\Delta\tau_c} \right)^5 \leq 1,0, \quad (\text{Ж.3})$$

де $\Delta\sigma_c$ і $\Delta\tau_c$ – табличні значення порогів витривалості нормальних і дотичних напружень для 2 млн циклів.

Ж.2.3 Категорії деталей для стандартних елементів і поширених випадків з'єднань надано в таблицях Ж.5 – Ж.13.

Ж.2.4 У разі перевірок має виконуватися умова з обмеження розмаху діючих напружень за формулами:

$$\text{для нормальних напружень } \Delta\sigma \leq 1,5 \cdot R_{yn}, \quad (\text{Ж.4})$$

$$\text{для дотичних напружень } \Delta\tau \leq 1,5 \cdot R_{yn} / \sqrt{3}, \quad (\text{Ж.5})$$

де R_{yn} – характеристичне значення опору текучості;

$\Delta\sigma$ і $\Delta\tau$ – розмах напружень розраховують як різницю між найбільшими і найменшими значеннями напружень (нормальні зі своїми знаками), отриманих під час пружного розрахунку:

$$\Delta\sigma = |\Delta\sigma_{\max} - \Delta\sigma_{\min}|; \Delta\tau = \Delta\tau_{\max} - \Delta\tau_{\min}. \quad (\text{Ж.6})$$

Ж.2.5 Поріг витривалості $\Delta\sigma_{R,n}$ знаходять на основі табличних значень порогів витривалості $\Delta\sigma_c$ для 2 млн циклів.

Для кількості циклів, що не перевищує 5 млн, відповідний поріг витривалості $\Delta\sigma_{R,n}$ визначають за формулою:

$$\Delta\sigma_{R,n} = \Delta\sigma_c / \sqrt[3]{N / (2 \cdot 10^6)}; \quad \Delta\tau_{R,n} = \Delta\tau_c / \sqrt[3]{N / (2 \cdot 10^6)}. \quad (\text{Ж.7})$$

Для кількості циклів 5 млн $\Delta\sigma_{R,5} = \Delta\sigma_D$, а поріг витривалості розраховують за формулою:

$$\Delta\sigma_D = \Delta\sigma_c / \sqrt[3]{5 \cdot 10^6 / (2 \cdot 10^6)} = 0,737 \cdot \Delta\sigma_c. \quad (\text{Ж.8})$$

Для кількості циклів більше ніж 5 млн поріг витривалості розраховують за формулою:

$$\Delta\sigma_{R,n} = \Delta\sigma_D / \sqrt[5]{N / (5 \cdot 10^6)} = 0,737 \cdot \Delta\sigma_c / \sqrt[5]{N / (5 \cdot 10^6)}, \quad (\text{Ж.9})$$

де N – кількість циклів навантажень протягом розрахункового строку експлуатації мосту.

Ж.3 Розрахунок розмаху напружень

Ж.3.1 Автомобільні навантаження

Ж.3.1.1 Оцінювання витривалості передбачає, що тільки важкі транспортні засоби спричиняють небезпечний для конструкції розмах напружень, який призводить до появи втомних тріщин. Передбачається, що відносно легкі екіпажі, з вагою меншою ніж 80 кН, не зумовлюють суттєвого впливу на втому.

Ж.3.1.2 Напруження від постійних навантажень не враховують.

Ж.3.1.3 Потрібно враховувати вплив тільки одного важкого транспортного засобу (тандему АК), незалежно від кількості смуг руху на мосту. Одночасну появу двох тандемів не розглядають.

Ж.3.1.4 Розрахунковий тиск осі P_d тандему приймають за формулою:

$$P_d = P_k \cdot \gamma_s \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu), \quad (\text{Ж.10})$$

де P_k – характеристичний тиск осі тандему 150 кН;

γ_s – коефіцієнт, що дорівнює:

0,5 – для розрахунків елементів, що зазнають безпосередній вплив колеса тандему (елементи ортотропних плит тощо);

1,0 – для всіх інших розрахунків;

γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням, приймають таким, що дорівнює 1,0;

$1 + \mu$ – динамічний коефіцієнт, що дорівнює:

1,0 – для всіх розрахунків, крім деформаційних швів;

2,0 – для розрахунків деформаційних швів.

Ж.3.2 Рейкове навантаження

Ж.3.2.1 Навантаження для оцінювання витривалості потрібно приймати різне для локальних та глобальних розрахунків.

Ж.3.2.2 Для глобальних розрахунків розмах напружень в елементі мосту визначають від проходу одного потягу, довжина ділянки лінії впливу одного знака має бути більше за відстань між візками вагону.

Ж.3.2.3 Для локальних розрахунків оцінюють дію вагонних осей; розрахункове навантаження на вісь P_d приймають за формулою:

$$P_d = P_k \cdot \gamma_f \cdot (1 + \mu), \quad (\text{Ж.11})$$

де P_k – характеристичне навантаження;

γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням;

1,2 – для глобальних розрахунків, де навантаженням є потяг;

1,0 – для локальних розрахунків, де навантаженням є вісь;

$1+\mu$ – динамічний коефіцієнт, що дорівнює 1,0 (якщо колія в нормальному стані).

Ж.4 Підрахунок кількості циклів навантажень

Ж.4.1 Цикли від автомобільних навантажень

Ж.4.1.1 Кількість циклів розмаху діючих напружень знаходять на основі підрахунку кількості проїздів одного тандему по мосту протягом розрахункового строку експлуатації. Загальна кількість циклів N розмаху напружень від проходу одного тандему в одному напрямку по мосту протягом розрахункового строку експлуатації розраховують за формулою (Ж.12):

$$N = n_D \cdot n_Y \cdot n_C \cdot n_T \leq 1 \cdot 10^8, \quad (\text{Ж.12})$$

де $n_D = 365$ – кількість днів у році;

n_Y – розрахунковий строк експлуатації мосту за роками згідно з [ДБН В.2.3-22](#);

$n_C = 1$ – кількість циклів від проїзду одного тандему в одному напрямку;

n_T – середня денна кількість тандемів, що проходять по мосту в одному напрямку по одній смузі.

Кількість циклів від одного тандему в одному напрямку n_C приймають за таблицею Ж.1.

Таблиця Ж.1 – Кількість циклів від одного проходу тандему

№№	Характерна деталь моста	n_C – кількість циклів від одного тандему в одному напрямку
1	У всіх випадках, крім перелічених нижче	1,0
2	Елементи мосту, у яких кількість циклів подвоюють від одного проходу тандему	2,0
3	Елементи деформаційного шва	2,0

Середню денну кількість тандемів, що проходять в одному напрямку по одній смузі мосту n_T , знаходять за формулою (Ж.13):

$$n_T = n_{TB} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (\text{Ж.13})$$

де n_{TB} – середня денна кількість тандемів, що проходять в одному напрямку по одній смузі мосту. Фізичний ліміт кількості машин, що можуть пройти по одній смузі за день, приймають таким, що дорівнює 20 000 шт.;

k_1 – коефіцієнт, що враховує частку важких автомобілів у загальній кількості транспорту. Якщо статистичні дані відсутні, то коефіцієнт приймають з таблиці Ж.2;

k_2 – коефіцієнт, що враховує кількість смуг в одному напрямку, приймають з таблиці Ж.3.

Таблиця Ж.2 – Коефіцієнт частки важких автомобілів у потоці

Тип мосту	Коефіцієнт, k_1
Для суміщених під рейковий і автомобільний транспорт мостів і мостів на магістралях	0,20
Для мостів на інших дорогах загального користування	0,15
Для інших мостів	0,10

Таблиця Ж.3 – Коефіцієнт кількості смуг в одному напрямку

Кількість смуг в одному напрямку	Коефіцієнт, k_2
Для однієї смуги	1,00
Для двох смуг	0,85
Для трьох і більше смуг	0,80

Ж.4.2 Цикли від рейкових навантажень

Підрахунок кількості циклів розмаху напружень від рейкового транспорту такий само, як підрахунок кількості циклів від автомобільного навантаження. Загальну кількість циклів від проїзду потягів по мосту протягом розрахункового строку експлуатації оцінюють за формулою:

$$N = n_D \cdot n_Y \cdot n_C \cdot n_T \leq 1 \cdot 10^8, \quad (\text{Ж.14})$$

де n_D – кількість днів у році;

n_Y – розрахунковий строк експлуатації мосту за роками;

n_C – кількість циклів від проходу одного потягу за таблицею Ж.4;

n_T – середня денна кількість потягів, що проходять в одному напрямку по мосту за день.

Таблиця Ж.4 – Визначення кількості циклів від проходу одного потягу

Характерна деталь моста	Кількість циклів від проходу одного потягу n_C
У всіх випадках, крім наданих нижче	1,0
Поздовжні ребра та поперечні балки проїзду	Подвоєна кількість вагонів
Елементи з довжиною лінії впливу одного знака, меншою ніж відстань між візками вагонів	

Ж.5 Оцінювання витривалості від сумісної дії автомобільного і рейкового транспорту

Ж.5.1 Для багатьох елементів мосту, суміщеного під рух автомобілів і рейкового транспорту, достатньо виконати перевірку витривалості тільки від дії одного з навантажень – автомобільного чи рейкового.

Ж.5.2 Для елементів, які, приблизно, однаково сприймають обидва навантаження, але які мають різну кількість циклів і різну напруженість, розрахунки на витривалість виконують за такою процедурою.

Оцінюють витривалість деталі за граничною кількістю циклів, якщо відома категорія деталі, діючі розмахи напружень $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2 \dots \Delta\sigma_i$ і відповідна їм кількість циклів $n_1, n_2 \dots n_i$. Використовують такий алгоритм:

1. Для заданих розмахів напружень $\Delta\sigma_i$ оцінюють граничну кількість циклів N_i за формулами:

$$N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^3 \quad n \leq 5 \cdot 10^6, \quad (\text{Ж.15})$$

$$N_i = 5 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_D}{\Delta\sigma_i} \right)^5 \quad n > 5 \cdot 10^6, \quad (\text{Ж.16})$$

$$N_i = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{\Delta\tau_c}{\Delta\tau_i} \right)^5 \quad n > 5 \cdot 10^6. \quad (\text{Ж.17})$$

2. За відомої граничної кількості циклів N_i , для оцінювання витривалості використовують лінійний закон накопичення пошкоджень (Палгрена-Мінера). Сума відношень фактичної кількості циклів до граничної не може перевищувати 1,0.

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \leq 1. \quad (\text{Ж.18})$$

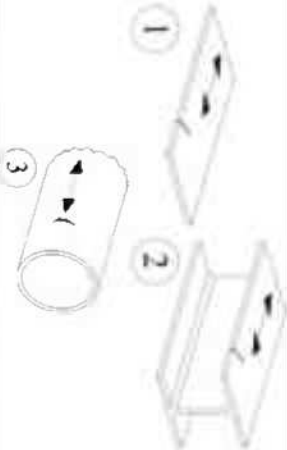
де $n_1, n_2 \dots n_i$ – фактична кількість прогнозованих циклів за розмахів діючих напружень $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2 \dots \Delta\sigma_i$.

Ж.6 Таблиці категорій витривалості

Категорії деталей дорівнюють (з певною забезпеченістю) порогам витривалості в МПа для 2 млн циклів для розмаху нормальних напружень $\Delta\sigma_c$ або дотичних $\Delta\tau_c$ (або для 5 млн циклів, якщо є посилання $m = 5$).

Ж.6.1 Категорії залежно від виду деталей наведено в таблицях Ж.5 – Ж.13.

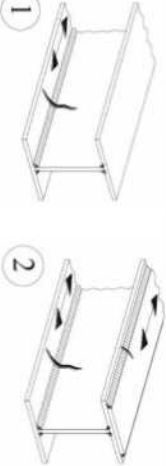
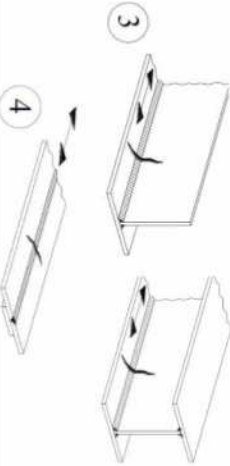
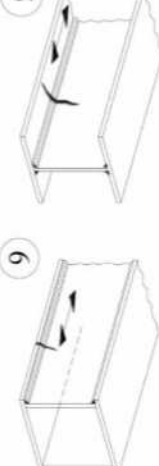
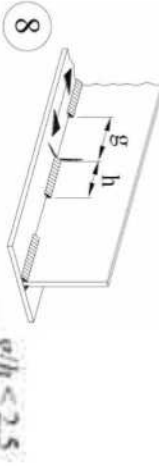
Таблиця Ж.5 – Елементи без зварювання і елементи з механічними стиками

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
160		Прокатні кромки деталей, кромки після термічного різання з класом шорсткості 1. 1) Лист і штаба. 2) Сортовий прокат. 3) Круглі та прямокутні труби.	Деталі 1) і 3). Гострі кромки і дефекти поверхні, мають бути зачищені. Поріг витривалості 160 – це максимальне значення для всіх деталей.
140		Різані ножицями або газом кромки: 4) Машинне газове різання з наступною зачисткою. 5) Кромки після машинної газового різання без зачистки, або після різання ножицями з наступною зачисткою по всій довжині. Кромки після машинного газового різання повинні мати 2 клас шорсткості.	Деталь 4). Всі видимі риски на кромках, які переривають безперервність, мають бути видалені зачисткою з напрямом рисок вздовж кромки з глибиною не більше ніж 0,3 мм. – зони переходу перерізу (ухил, менший ніж 1:4) або отвори мають бути зачищеними; – ремонт з використанням зварювання не допускається.
125			
100 <i>m=5</i>		Деталі 6) і 7) відповідають деталям 1), 2) і 3). Для елементів із зсувом.	Деталі 6) і 7) Δτ оцінюють за дотичними напруженнями за формулою $\tau = \frac{Q \cdot s}{l \cdot l}$.
112		8) Стик з двосторонніми накладками на високоміцних болтах. 8) Стик з двосторонніми накладками на заповнених високоміцних болтах.	Деталь 8) Δσ для перерізу брунто. –

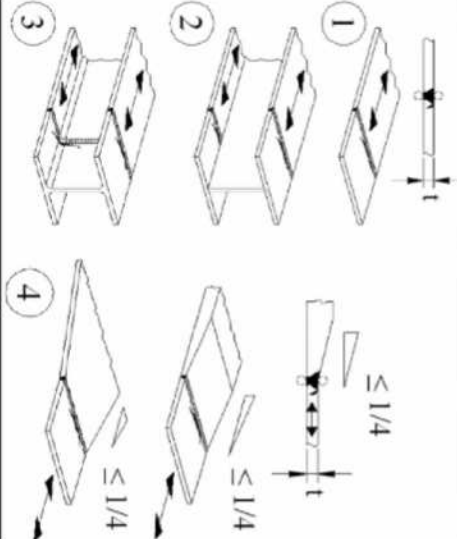
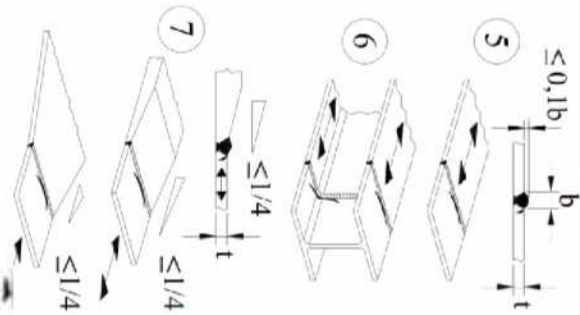
Кінець таблиці Ж.5

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
90		9) Стик з двосторонніми накладками на болтах класу А.	Деталь 9) $\Delta\sigma$ для перерізу нетто.
		9) Стик з двосторонніми накладками на звичайних заповнених болтах.	
		10) Стик з односторонніми накладками на високоміцних болтах.	Деталь 10) $\Delta\sigma$ для перерізу нетто.
		10) Стик з односторонніми накладками на заповнених високоміцних болтах.	
80		11) Елемент піддалий згибу і (або) осьовому розтягу.	Для з'єднань на болтах (деталі від 8) до 13) – відстань від осі болта до кромки $\geq 1,5 \cdot d$, а між болтами $\geq 2,5 \cdot d$.
		12) Стик з односторонніми накладками на болтах класу А.	
		12) Стик з односторонніми накладками на звичайних заповнених болтах.	
50		13) Односторонні або парні накладки с болтами класу В і С.	Деталь 13) $\Delta\sigma$ для перерізу нетто.
50		14) Болти і шпильки з різьбою; для болтів великого діаметра слід вводити коефіцієнт розміру k_f .	Деталь 14) $\Delta\sigma$ – напруження знаходять по площі болта. Згин болта має бути врахований. Для попередньо напружених болтів зменшення розмаху напружень має бути враховане.
100 $m=5$		15) Болти класу А і В піддані одиночному або подвійному зрізу поза різьбою.	Деталь 15) $\Delta\tau$ – зріз оцінюється для зони без різьби.

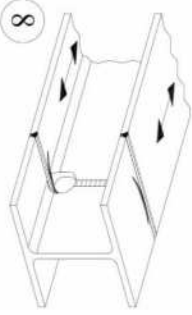
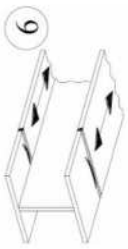
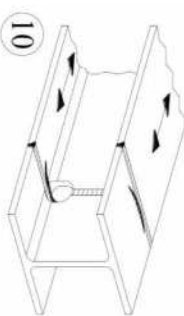
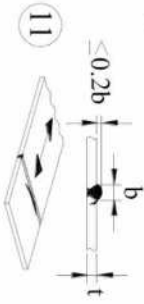
Таблиця Ж.6 – Зварні профілі

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
125		Поздовжні шви без переривання: 1) Автоматичні кутові двосторонні шви. 2) Автоматичні заповнені шви кромок поясних листів для деталей 6) або 7) у таблиці 5.	Деталі 1) і 2) відсутні старт/зупинка по довжині шва, крім випадків, коли забезпечений якісний ремонт.
112		3) Автоматичні заповнені або кутові шви приварки кромок листів, де присутні старт/зупинка. 4) Автоматичні стикові шви, що виконані з одного боку на заглиблених підкладках без зон старт/зупинка.	Деталь 4). Якщо присутні старт/зупинка, то категорія 100.
100		5) Ручне кутове або стикове зварювання. 6) Ручне або автоматичне зварювання, що виконане з одного боку, як правило для коробок.	Деталі 5) і 6). Зазори до 2 мм. Провар кореня швів.
100		7) Відновлені після ремонту шви деталей 1) і 6)	Деталь 7). Якісний ремонт може підвищити категорію.
80		8) Переривчастий поздовжній шов.	Деталь 8) Не оцінюється за напруженнями в поясі.

Таблиця Ж.7 – Поперечні стикові шви

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
112		Зварення без залишкових підкладок. 1) Поперечні стики листів і штаб. 2) Стики поксів і стінок складених балок у процесі збирання. 3) Стик в одному перерізі прокатного перерізу без викружок. 4) Стик листів змінної товщини або ширини за ухилу $\leq 1/4$.	Зачистка швів має бути виконана урівень з прокатом і паралельно до напрямку зусиль. Для зварювання мають бути використані вивідні планки, а після зрізання планок слід зачистити кромки урівень. Зварювання з двох боків повинне мати 100 % НМК.
90		Зварювання стиків без залишкових підкладок. 5) Поперечні стики листів і штаб. 6) Стик в одному перерізі прокату без викружок. 7) Стик листів змінної товщини або ширини за ухилу $\leq 1/4$.	Висота посилення швів до 10 %, ширини шва за умови плавного переходу до поверхні листа. Для зварювання мають бути використані вивідні планки; після цього слід зачистити кромки урівень. Зварення з двох боків 100 % НМК.

Продовження таблиці Ж.7

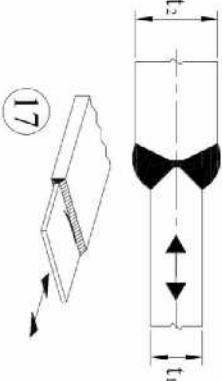
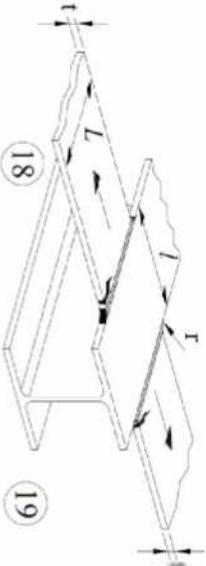
Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
90		8) Те саме, що 3), але з викружкою.	Зачистка швів має бути виконана урівень з прокатом і паралельно до напрямку зусиль. Для зварювання мають бути використані вивідні планки, а після зрізання планок слід зачистити кромки урівень.
80	   	9) Поперечні стикові шви без викружкою. 10) Стик в одному перерізі прокатного профілю без викружок. 11) Поперечні стики листів прокатних і складених з листів бляшок.	Висота посилення швів до 20 % ширини шва за умови плавного переходу до поверхні листа: для зварювання мають бути використані вивідні планки; після цього слід зачистити кромки урівень. Зварення з двох боків 100 % НМК.
63		12) Стик в одному перерізі прокатного профілю без викружок.	Для зварювання мають бути використані вивідні планки, а після зрізання планок слід зачистити кромки урівень. Зварювання з двох сторін.

Для товщини >25 мм до категорій слід застосовувати редукційний коефіцієнт для деталей І—ІІ, що враховує розмір елемента, який дорівнює $k_s = (25 / t)^{0,2}$

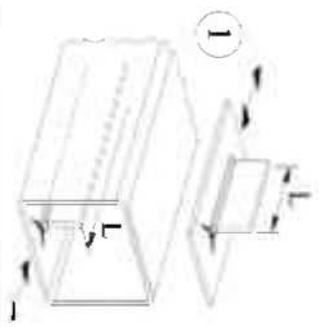
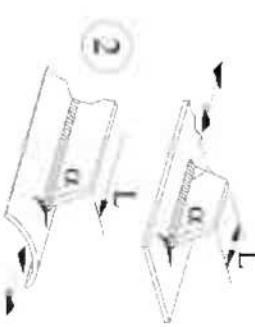
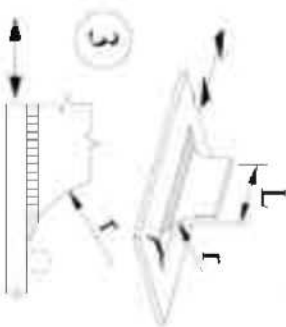
Продовження таблиці Ж.7

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис	Вимоги
71	$k_s = (25 / t)^{0,2}$		13) Шов з одного боку. 13) Шов з одного боку + виконаний ПМК.	Деталь 13). Шов виконаний б/с підкладки.
71	$k_s = (25 / t)^{0,2}$		Шви на залишковій підкладці. 14) Поперечні стики. 15) Поперечні стики листів різної товщини за ухилу $\leq 1/4$.	Для деталей 14) і 15) вихід швів підкладки не менший ніж 10 мм. Шви підварки підкладки переважені стиковим швом.
50	$k_s = (25 / t)^{0,2}$		16) Поперечні стики листів постійної і різної товщини за ухилу $\leq 1/4$.	Деталь 16). Шви на підкладці виходять за межі листа не менше ніж на 10 мм.

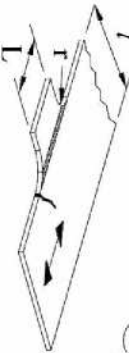
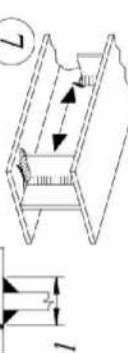
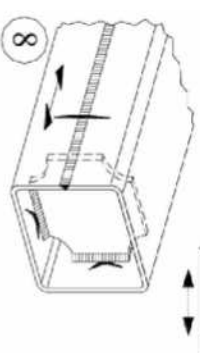
Кінець таблиці Ж.7

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
71	Коефіцієнт розміру $k_s = \frac{\left(\frac{25}{l}\right)^{0,2}}{1 + \frac{6 \cdot e \cdot l_1^{1,5}}{l_1 \cdot l_1^{1,5} + l_2^{1,5}}} \quad t_2 > t_1$ 	Ухил $\leq 1/2$ $t_2 > t_1$ 	Деталь 17). Поперечний стиковий шов листів різної товщини без зони переходу товщини.
Як деталь 1) у таблиці Ж.9.		18) Поперечний стиковий шов перехрестя поясів.	Деталі 18) і 19) До розмаху напружень в елементі, що не переривається, мають бути перевірені по таблиці Ж.8, для деталі 4) або 5)
Як деталь 4) у таблиці Ж.8.		19) Те саме з радіусом переходу в таблиці Ж.8, деталь 4)	

Таблиця Ж.8 – З'єднання з присудіаними фасонками

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис	Вимоги
80	$L \leq 50 \text{ мм}$		Поздовжнє ребро, фасонка. 1) Категорія деталі варіюється залежно від довжини елементів L	Висота ребра (фасонки) має бути меншою за довжину, якщо інакше, див. таблицю 5 деталь 5) або 6)
	$50 < L \leq 80 \text{ мм}$			
	$80 < L \leq 100 \text{ мм}$			
56	$L \geq 100 \text{ мм}$		2) Поздовжня фасонка на листі або на трубі.	
71	$L \geq 100 \text{ мм}$ $\alpha < 45^\circ$			
80	$r \geq 150 \text{ мм}$		3) Поздовжні шви фасонки з радіусним переходом до листу. Кінці швів з повним проплавленням.	Деталі 3) і 4). Радіус переходу від фасонки до листа виконаний після зварення з механічною зачисткою з направленням рисок вздовж стрілки.

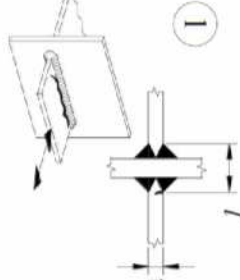
Продовження таблиці Ж.8

Категорія деталей	Ескіз деталі		Опис	Вимоги
90	$\frac{l}{L} \geq \frac{1}{3}$ або $r \geq 150 \text{ мм}$		4) Фасонка приварена встик до кромки листа.	
	$\frac{1}{6} \leq \frac{l}{L} \leq \frac{1}{3}$			
50	$\frac{l}{L} \geq \frac{1}{6}$		5) Без радіуса переходу від фасонки до поясу.	
40	-			
80	$L \leq 50 \text{ мм}$	  	Поперечна фасонка, ребро, діафрагма. 6) Приварка ребра до листа. 7) Приварка ребра до стінки і поясу. 8) Приварка діафрагми до стінок коробки або труби.	Деталі 6) і 7). Кінці швів ретельно захищені від підрізів. Деталь 7). Розмах напружень Δσ має бути визначений у напрямі стрілок.
71	$50 < L \leq 80 \text{ мм}$			

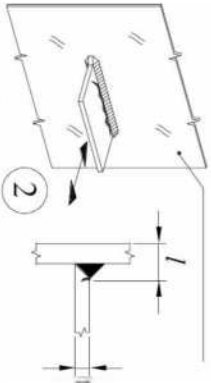
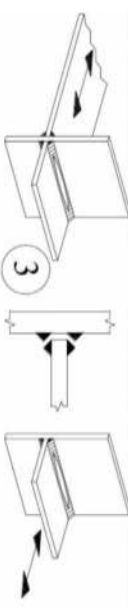
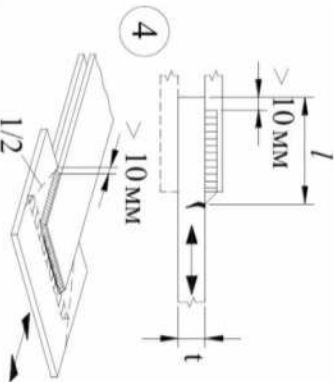
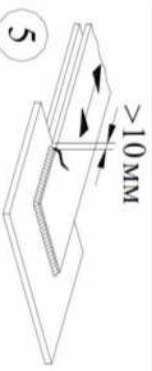
Кінець таблиці Ж.8

Категорія деталі	Носкіз деталі		Опис	Вимоги
90			9) Вишив приварки гнучкою анкера до поясу.	Розмах напружень Δσ має бути визначений у напрямі стрілок.

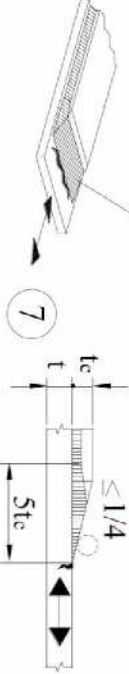
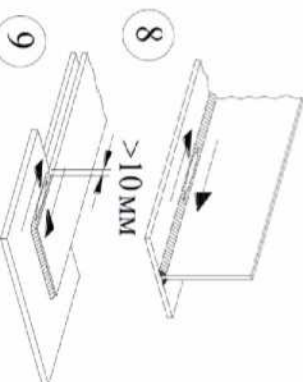
Таблиця Ж.9 – Навантажений шви зварювання

Категорія деталі	Конструктивна деталь 50 < l ≤ 80 мм t ≤ 20 мм		Опис	Вимога
80	$l < 50$ мм	Всі t толщини, мм		1) Інспекція 100 % швів. 2) Для розрахунку Δσ напруження номінальні. 3) Для швів с частковим проплавленням дві перевірки: 1 – коренева тріщина, використовувати категорію 3б* для напружень у шві і категорію 80 для Δσ _к . 2 – л'якова тріщина від напружень Δσ у навантаженій пластинці. Деталі 1) і 3). Плита, що несе навантаження не має бути товщою більш ніж на 15 % від плити в проміжку.
71	$50 < l < 80$ мм			
63	$80 < l < 100$ мм			
56	$100 < l < 120$ мм			
56	$l > 120$ мм	$t < 20$ мм		
50	$120 < l < 200$ мм	$t < 20$ мм		
50	$l > 200$ мм	$20 < l < 30$ мм		
45	$200 < l < 300$ мм	$t \geq 30$ мм		
45	$l > 300$ мм	$30 < t \leq 50$ мм		

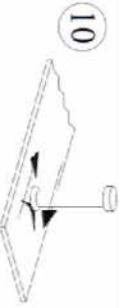
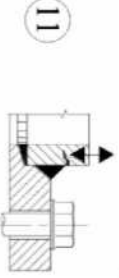
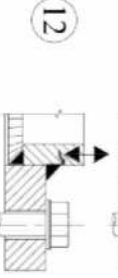
Продовження таблиці Ж.9

Категорія деталі	Конструктивна деталь 50 < l ≤ 80 мм t ≤ 20 мм Гнучка панель	Опис	Вимога
Як і деталь 1 в таблиці Ж.5		2) Руйнування п'яти шва	
3б*		3) Руйнування таврового з'єднання з кутовими швами або з повним проплавленням.	
Як деталь 1 в таблиці Ж.5		4) Шви для зварювання внапуск.	
45°		5) Шви для зварювання внапуск	

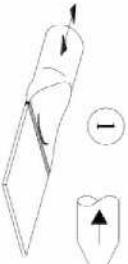
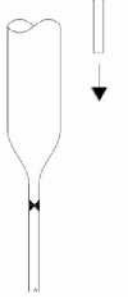
Продовження таблиці Ж.9

Категорія деталі	Конструктивна деталь 50 < l ≤ 80 мм t ≤ 20 мм		Опис	Вимога
	$l_c < l$	$l_c \geq l$	Покриваючі плити балок і коробок. 6) Кінцеві зони зварних швів з або з поперечними швами	Деталь 6). У покриваючих листах, що ширші ніж нижній лист, кінцеві шви обов'язкові. Довжина листів повинна бути не меншою ніж 300 мм. Якщо листи коротші, слід використовувати деталь 1) таблиці Ж.9.
56*	$l \leq 20$			
50	$20 < l \leq 30$	$l \leq 20$		
45	$30 < l \leq 50$	$20 < l \leq 30$		
40	$l \geq 50$	$30 < l \leq 50$		
36		$l \geq 50$		
56	Посилений кінцевий шва 		7) Довжина торцевого шва покривного листа $5 \cdot l_c$.	Деталь 7). Поперечний шов зачищений врівень (див. рисунок) Якщо $l_c > 20$ мм, ухил зачистки не більший ніж 1/4.
80 $m=5$			8) Безперервні кутові шви сприймають зріз поперічно відносно стінок. 9) Кутові шви для зварювання внапуск	Деталь 8) Ас розмах напружень для перерізів шва. Деталь 9) Δt розмах напружень розподілений по всій довжині шва. Шви віддалені на 10 мм від краю див. 4) і 5)

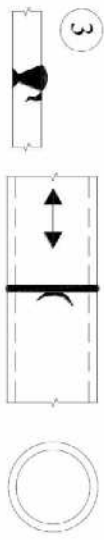
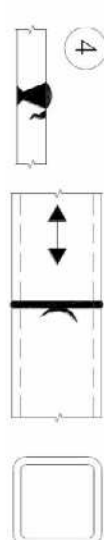
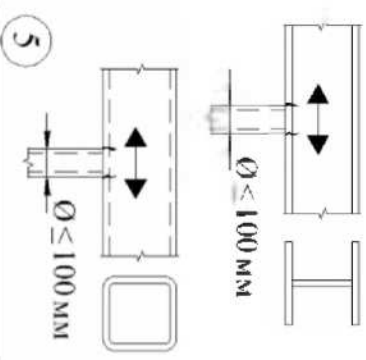
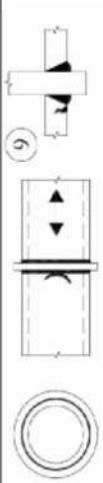
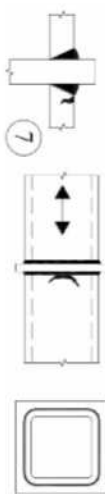
Кінець таблиці Ж.9

Категорія деталі	Конструктивна деталь $50 < l \leq 80 \text{ мм}$ $t \leq 20 \text{ мм}$	Опис	Вимога
90 $m=8$		10) Приварка гнучкого упору до поєсу.	Деталь 10) Аг розмах напружень у церезі анкера.
71	 	11) Шви фланців труб з 80 % повного провару.	Деталь 11). Тріщини в корні шва. Аг розмах напружень для труб.
		12) Кутові шви фланців труб.	Деталь 12) Аг розмах напружень для труб.
40			

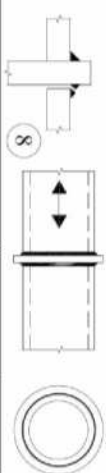
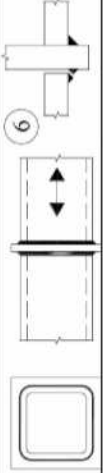
Таблиця Ж.10 – Пустотні перерізи (товщина не більше 12,5 мм)

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
71	 	1) Стиснуті кінці труб з приваркою листів з Х-обробкою.	Деталь 1). Розмах напружень Аг для перерізів труб діаметром до 200 мм.
71	$\alpha \leq 45^\circ$		Деталь 2) Аг оцінюється в труб. Шви, що зрізаються, оцінюють для деталі 8) таблиці 5.
63	$\alpha \leq 45^\circ$	2) Лист, що вварений у виріз у трубі	

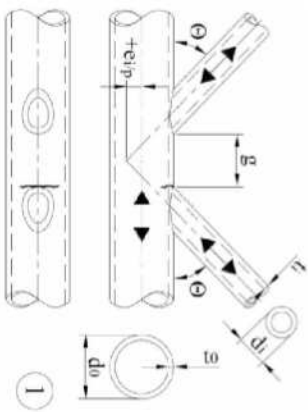
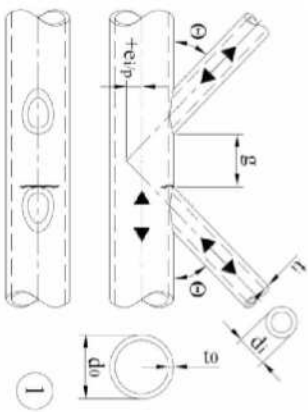
Продовження таблиці Ж.10

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
71		Поперечні стикові шви; 3) шви круглих труб;	Деталі 3) і 4): – посилення швів < 10 % ширини з плавним переходом до основи, – зварювання в нижньому положенні з відсутністю зовнішніх дефектів; – класифікується на 2 категорії вище для товщини < 8 мм.
56		4) шви прямокутних труб.	
71		5) Зварні з'єднання круглих і прямокутних труб до іншого перерізу.	Кутові шви не навантажені. Ширина вздовж зусилля менша ніж 100 мм; інше в таблиці 4.
50		6) Шви з повним проваром круглої труби виконані через проміжну плиту.	Деталі 6) і 7): – шви навантажені; – інспекція швів за відсутності зовнішніх дефектів; – класифікується на 2 категорії вище, якщо товщина менша ніж 8 мм.
45		7) Шви з повним проваром прямокутної труби виконані через проміжну плиту.	

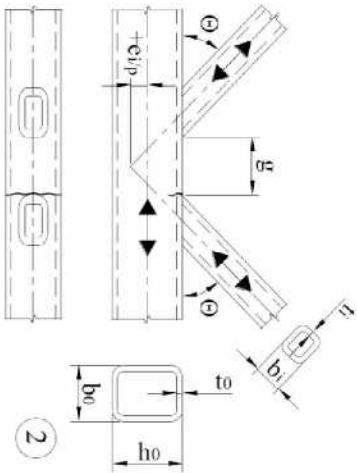
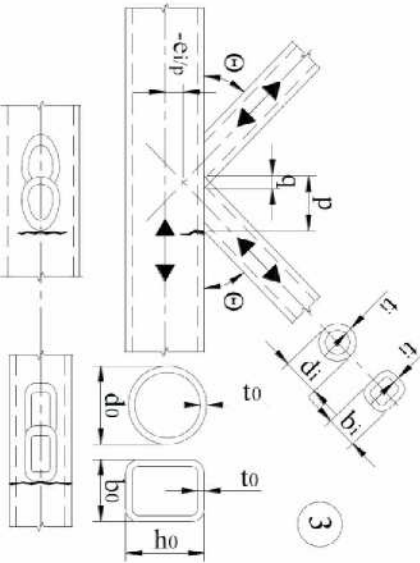
Кінець таблиці Ж.10

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис	Вимоги
40		8) Кутові шви круглої труби виконані через проміжну плиту.	Деталі 8) і 9): – шви навантажені; – товщина труби менша ніж 8 мм.
		9) Кутові шви прямокутної труби виконані через проміжну плиту.	
36			

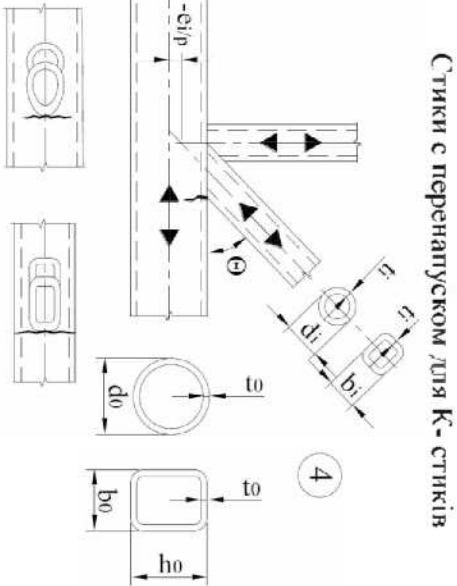
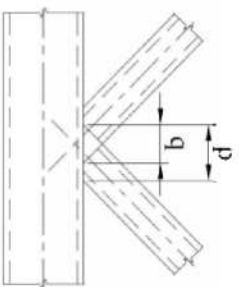
Таблиця Ж.11 – Стики трубчастих ферм

Категорія деталі	Ескіз деталі	Опис
90		Деталі 1) і 2). Потрібна оцінка для розкосів і поясів. Проміжні значення відношень $\frac{b_0}{t_0}$ слід визначати лінійною інтерполяцією. Кутові зварні шви допускаються для товщин $t \leq 8$ мм, та t_0 і $t_f \leq 8$ мм. $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0 / t_0 \cdot t_0 / t_f \leq 25$ $d_0 / t_0 \cdot t_0 / t_f \leq 25$ $0,4 \leq b_f / b_0 \leq 1$ $0,25 \leq d_f / d_0 \leq 1$ $b_0 \leq 200 \cdot d_0 \leq 300$ $0,5 \cdot b_0 \leq e_{f/p} \leq 0,25 \cdot b_0$ $0,5 \cdot d_0 \leq e_{f/p} \leq 0,25 \cdot d_0$
$m=5$		
$m=5$		
71		Деталі 1) і 2). Потрібна оцінка для розкосів і поясів. Проміжні значення відношень $\frac{b_0}{t_0}$ слід визначати лінійною інтерполяцією. Кутові зварні шви допускаються для товщин $t \leq 8$ мм, та t_0 і $t_f \leq 8$ мм. $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0 / t_0 \cdot t_0 / t_f \leq 25$ $d_0 / t_0 \cdot t_0 / t_f \leq 25$ $0,4 \leq b_f / b_0 \leq 1$ $0,25 \leq d_f / d_0 \leq 1$ $b_0 \leq 200 \cdot d_0 \leq 300$ $0,5 \cdot b_0 \leq e_{f/p} \leq 0,25 \cdot b_0$ $0,5 \cdot d_0 \leq e_{f/p} \leq 0,25 \cdot d_0$
$m=5$		

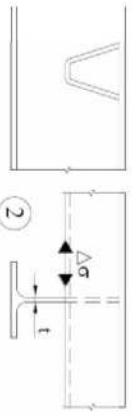
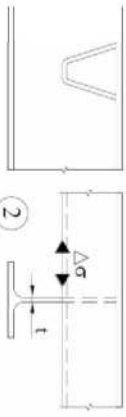
Продовження таблиці Ж.11

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис
36 $m=5$	$\frac{l_0}{l_i} \geq 1$		$e_{i/p} \leq 0,02 \cdot b_0$ або $e_{i/p} \leq 0,02 \cdot d_0$ $e_{i/p}$ ексцентриситет з площини / Деталь 2); $0,5 \cdot (b_0 - b) \leq g \leq 1,1 \cdot (b_0 - b)$ за умови $g \leq 2 \cdot t_0$.
71 $m=5$	$\frac{l_0}{l_i} \geq 1,4$		Деталі 3) і 4). Перенапуск від 30 % до 100 %. Перенапуск $\cdot (q/p) \cdot 100\%$. Проміжні значення відношення l_0/l_i слід визначати лінійною інтерполяцією між деталями категорій. Кутові зварні шви допускаються для товщин $t \leq 8$ мм, та l_0 і $l_i \leq 8$ мм. $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ $b_0/l_0 \cdot t_0/l_i \leq 25$ $d_0/l_0 \cdot t_0/l_i \leq 25$ $0,4 \leq b/b_0 \leq 1$ $0,25 \leq d_i/d_0 \leq 1$
56 $m=5$	$\frac{l_0}{l_i} \geq 1$		

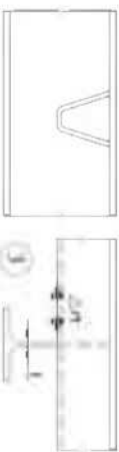
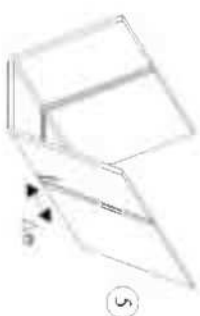
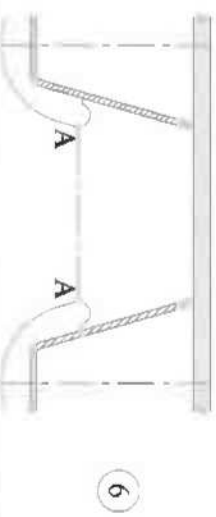
Кінець таблиці Ж.1.1

Категорія деталі	Ріскі деталі		Опис
71 $m=5$	$\frac{l_0}{l_i} \geq 1,4$	Стики є перенапуском для К-стітків	$b_0 \leq 200 \cdot d_0 \leq 300$ $0,5 \cdot h_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25 h_0$ $0,5 \cdot d_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25 \cdot d_0$ $e_{i/p} \leq 0,02 \cdot h_0$ або $e_{i/p} \leq 0,02 \cdot d_0$ $e_{i/p}$ ексцентриситет з площини для q і p
50 $m=5$	$\frac{l_0}{l_i} = 1$		

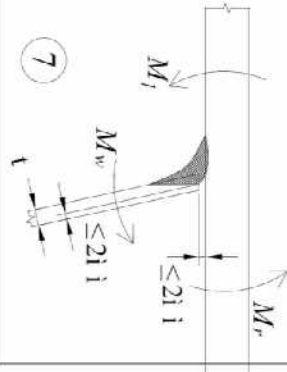
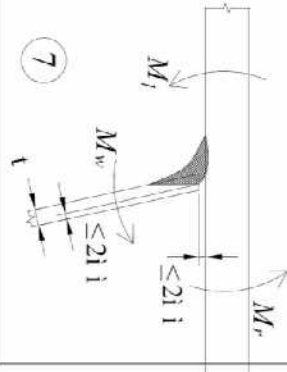
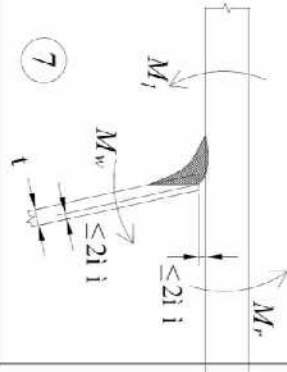
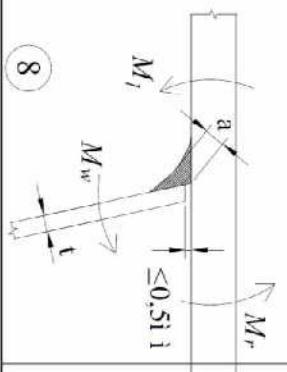
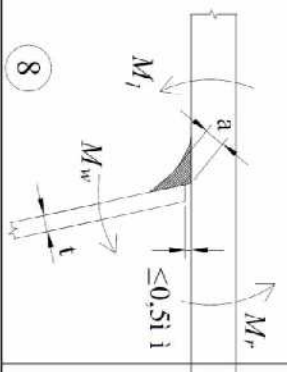
Таблиця Ж.1.2 – Ортоотропні плити з замкненими ребрами

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис	Вимога
80	$r \leq 12$		1) Поздовжні безперервні ребра з вільними вирізами в стінках поперечних балок.	Деталі 1) і 2). Оцінка основана на розмахах напружень $\Delta\sigma$ в поздовжніх ребрах у місці приварки до стінки поперечної балки (нижня точка) з товщиною t мм.
71	$r > 12$			
80	$r \leq 12$		2) Поздовжні безперервні ребра без вільних вирізів у стінках поперечних балок.	
71	$r > 12$			

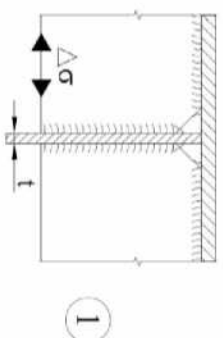
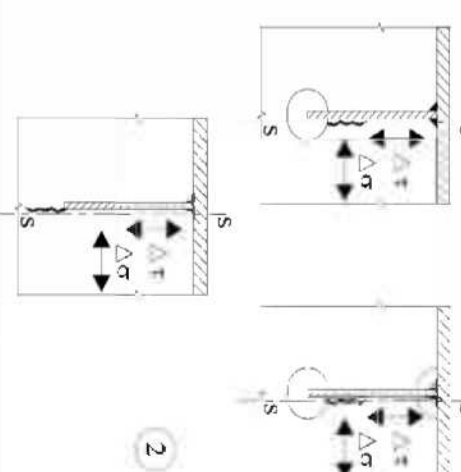
Продовження таблиці Ж.12

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис	Вимога
36			3). Поздовжні безпервні ребра перериваються на стінці поперечних балок.	Деталь 3) Оцінка основана на розмахах напружень $\Delta\sigma$ у нижній кромці поздовжніх ребер.
71			4). Стик поздовжнього ребра з повним проваром на залишковій підкладці.	Деталь 4) Оцінка основана на розмахах напружень $\Delta\sigma$ в стиках поздовжніх ребер.
112	Як 1) 2) і 4) таблиці 3			Деталь 5). Оцінка основана на розмахах напружень $\Delta\sigma$ в стиках поздовжніх ребер.
90	Як 5) і 7) таблиці 3			
80	Як 9) і 11) таблиці 3			
71			6) Переріз стінки поперечної балки між ребрами.	Деталь 6). Оцінку виконують по перерізу А-А. Допускається приймати категорію 112.

Кінець таблиці Ж.12

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис	Вимога	
71			$\Delta \sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$ 	7) Зварний шов прикріплення стінки ребра до листа настилу. Часткове проплавлення $a \geq t$.	Деталь 7). Оцінка базується на нормальних напруженнях від згину листа настилу.
50			8) Кутовий шов або часткове проплавлення з зовнішнього боку ребра.	Деталь 8). Оцінка базується на нормальних напруженнях від згину листа настилу.	

Таблиця Ж.13 – Ортотропні плити з відкритими ребрами

Категорія деталі	Ескіз деталі		Опис	Вимога
80	$l \leq 12 \text{ мм}$	 1	1) Поздовжнє ребро перерване на стінці поперечної балки.	Деталь 1). Оцінка основана на розмаху напружень $\Delta\sigma$ в поздовжніх ребрах l – товщина стінки поперечної балки в мм.
71	$l > 12 \text{ мм}$			
56	 2		2) Вузол безперервного ребра і стінки поперечної балки.	Деталь 2) Оцінка базується на комбінації нормальних $\Delta\sigma$ і дотичних напружень $\Delta\tau$ $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \cdot \left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4 \cdot \Delta\tau^2} \right)$

Ж.6.2 На рисунку Ж.1 показано стандартний вузол перетину поздовжнього ребра і стінки поперечної балки. Цифрами в прямокутних рамках позначено відповідні категорії. Найбільш чутливими для утворення тріщин є ділянки:

- однобічний шов приварення ребра до листа настилу;
- поперечний стиковий шов ребра на залишковій підкладці;
- ділянка в перерізі А–А.

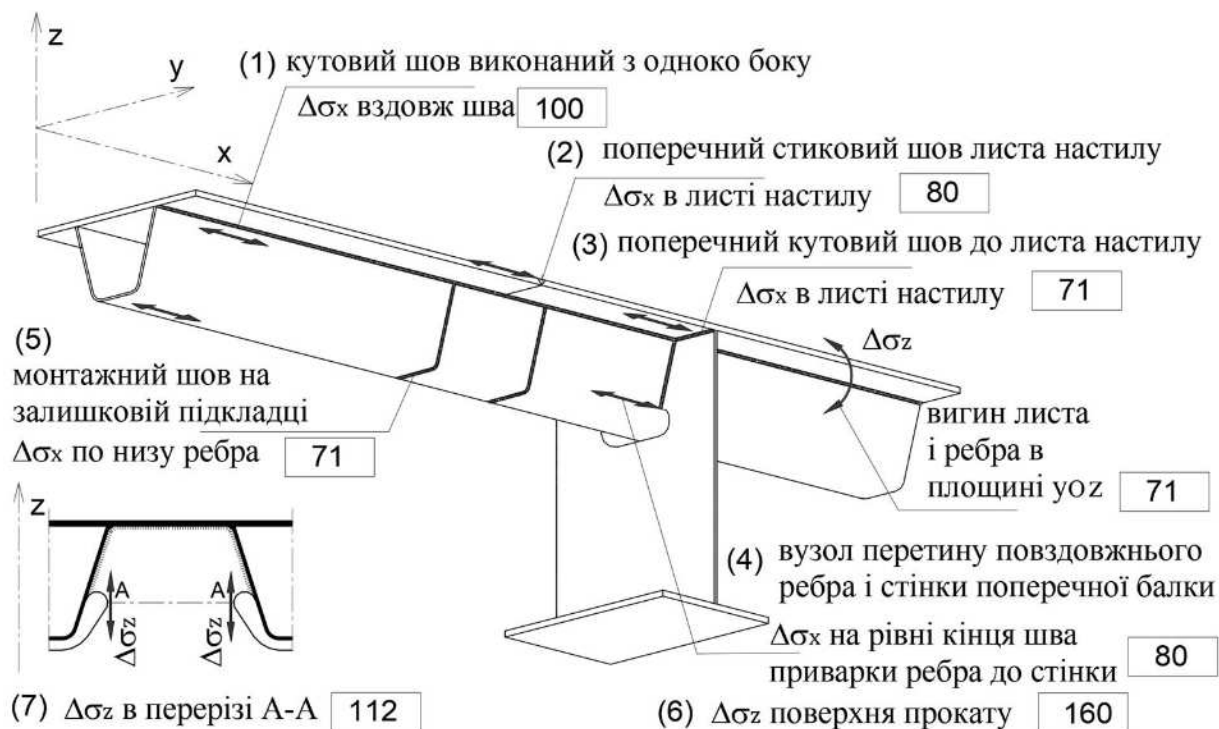


Рисунок Ж.1 – Вузол перетину поздовжнього ребра і стінки поперечної балки

Ж.7 Графік опору втоми

Ж.7.1 Схильність деталей до втоми оцінюють 13-ма порогами витривалості деталей $\Delta\sigma_c$ для 2 млн циклів, вираженими в МПа і названими категоріями. Графік зміни порогів витривалості, залежно від кількості циклів, показано на рисунку Ж.2. Поріг витривалості для 5 млн циклів – $\Delta\sigma_c$. Абсолютний поріг витривалості для 100 млн циклів – $\Delta\sigma_L$. Кубічна залежність до 2 млн циклів. Залежність 5-того ступеню від 5 млн циклів до 100 млн циклів.

Ж.7.2 Для швидкого оцінювання витривалості використовують графік на рисунку Ж.2, який побудовано на основі формул (Ж.7) – (Ж.9). Графік містить логарифмічні шкали напружень і кількість циклів. Після визначення категорії деталі за таблицями витривалості і знаючи кількість циклів навантаження, користуючись графіком, є можливість визначити поріг витривалості деталі. Наприклад, деталь підпадає під категорію 71 (згідно з таблицею Ж.7), а проєктна кількість циклів навантаження = 50 млн, і потрібно визначити відповідний поріг витривалості. Для цього, потрібно піднятися по ординаті 50 млн до перетину з лінією категорії 71. Далі знайти значення порогу витривалості по осі напружень – 33 МПа.

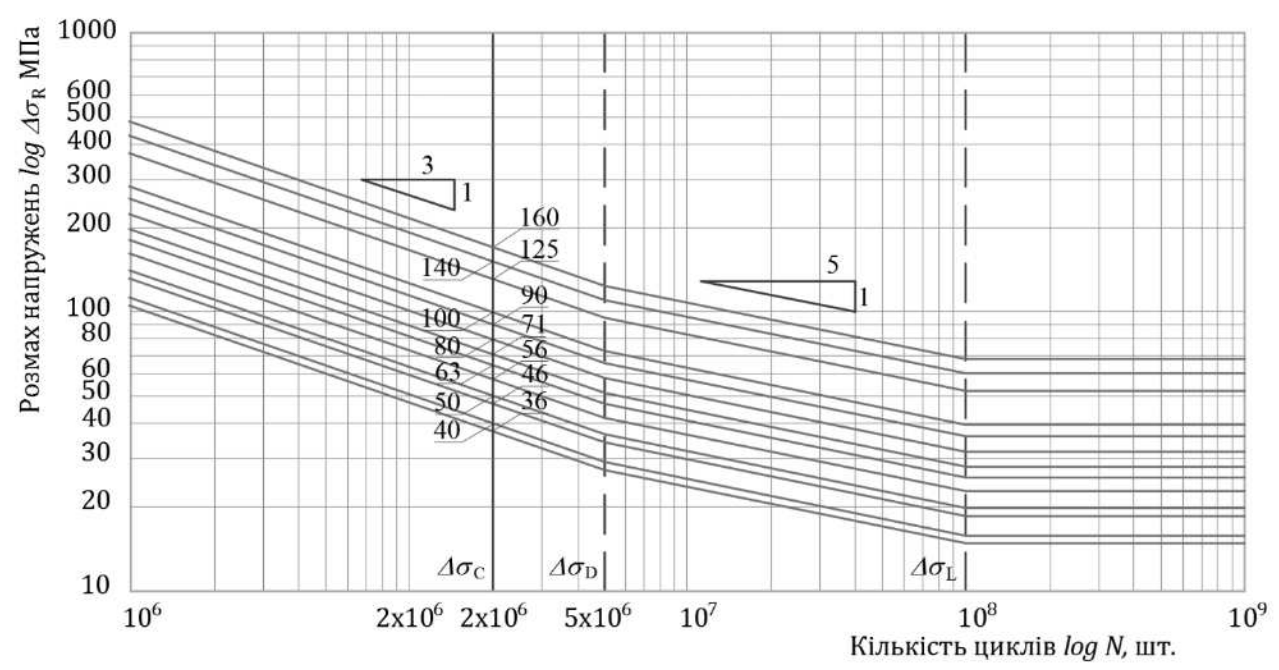


Рисунок Ж.2 – Графік опору втомі для нормальних напружень. Категорії. Пороги витривалості для 2 млн циклів – $\Delta\sigma_c$

Додаток И
(обов'язковий)

КОЕФІЦІЄНТИ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ВИТРИВАЛОСТІ

Ефективні коефіцієнти концентрації напружень β для розрахунку сталевих конструкцій мостів на витривалість.

Таблиця И.1 – Ефективні коефіцієнти концентрації напружень β

Розташування розрахункового перерізу та характеристика конструкцій	Коефіцієнт β для сталі класу міцності	
	≤ 295	> 295
1. По основному металу після струменевого очищення або неопрацьованої прокатної поверхні в деталях з прокатним або обробленим фрезеруванням, струганими кромками в перерізах поза звареними швами і болтами	1,0	1,0
2. Те саме, із кромками, обрізаними газовим машинним різанням:		
а) нормальної якості;	1,1	1,2
б) чистовою (змив-процес, з кисневою завісою, лазерна, плазмова)	1,0	1,0
3. По основному металу деталей у перерізах:		
а) нетто за сполучними болтами складених елементів, а також біля вільних отворів (рисунок И.1);	1,3	1,5
б) нетто в отворі з поставленим у нього високоміцним болтом, затягнутим на нормативне зусилля (рисунок И.2);	1,1	1,3
в) бруто по першому ряду високоміцних болтів у прикріпленні фасонки до поясів, що не стикаються у цьому вузлі суцільних балок і елементами решітчастих ферм (рисунок И.3);	$1,3 \cdot m_f$	$1,5 \cdot m_f$
г) те саме, у прикріпленні до вузла в стику двостінчастих елементів, в яких:		
– безпосередньо перекрито частину перерізу;	$1,4 \cdot m_f$	$1,6 \cdot m_f$
– $2 \cdot A_v$ становить, відсотків, не менше від: 80 загальної площі перерізу, в тому числі у разі двосторонніх накладок – 60 (рисунок И.4);		
– безпосередньо перекрито частину перерізу;	$1,5 \cdot m_f$	$1,7 \cdot m_f$
– $2 \cdot A_v$ становить, відсотків, не менше від: 60 загальної площі перерізу, у тому числі у разі двосторонніх накладок – 40 (рисунок И.5);		
д) те саме, у прикріпленні до вузла або в стику з однобічними накладками двостінчастих елементів, у яких безпосередньо перекрито частину перерізу $2 \cdot A_v$ становить (рис. 5), відсотків загальної площі перерізу:		
– 60 і більше;	$1,6 \cdot m_f$	$1,8 \cdot m_f$
– менше ніж 60;	$1,7 \cdot m_f$	$1,9 \cdot m_f$
е) те саме, у прикріпленні до вузла або в стику з однобічними накладками одностінчастих елементів (рисунок И.6)	$2,2 \cdot m_f$	$2,5 \cdot m_f$
4. По основному металу деталей у перерізі по границі неопрацьованого стикового шва з підсиленням, що має плавний перехід (під час стикування листів однакової товщини і ширини)	1,5	1,8
5. По основному металу деталей у перерізі по ділянці переходу до стикового шва, обробленого в цьому місці абразивним кругом або фрезою для стикування листів:		
а) однакової товщини і ширини;	1,0	1,0
б) різної ширини в перерізі за більш вузьким листом;	1,2	1,4
в) різної товщини в перерізі за більш тонким листом;	1,3	1,5
г) різної товщини і ширини в перерізі за листом з меншою площею	1,6	1,9
6. По основному металу елемента, який закріплюють внапуск, у перерізі по границі лобового кутового шва:		
а) без механічного оброблення цього шва у разі відношення його катетів $b/a \geq 2$ (напрямок більшого катета b уздовж зусилля);	2,3	3,2

Розташування розрахункового перерізу та характеристика конструкцій	Коефіцієнт β для сталі класу міцності	
	≤ 295	> 295
б) те саме, для відношення катетів $b/a \geq 1,5$;	2,7	3,7
в) для механічного оброблення цього шва і відношення катетів $b/a \geq 2$	1,2	1,4
г) те саме, для відношення катетів $b/a \geq 1,5$	1,6	1,9
7. По основному металу елемента, який прикріплюють у перепуск фланговими кутовими швами, у перерізах по кінцях цих швів незалежно від їхнього оброблення	3,4	4,4
8. По основному металу розтягнутих поясів балок і елементів ферм у перерізі по границі поперечного кутового шва, що прикріплює діафрагму або ребро жорсткості:		
а) без механічного оброблення шва, але за наявності плавного переходу від шва до основного металу для зварювання:		
ручному;	1,6	1,8
механізованому під флюсом;	1,3	1,5
б) для механічного оброблення швів фрезою	1,0	1,1
9. Переріз складених елементів із листів, з'єднаних неперервними поздовжніми швами, звареними автоматом, від дії зусилля уздовж осі шва	1,0	1,0
10. По основному металу елементів у місцях, де обриваються деталі:		
а) фасонки, які приварюють в стик до крайок поясів балок ферм або в тавр до стінок і поясів балок, а також до елементів ферм, за умови плавної криволінійної форми і механічного оброблення переходу фасонки до поясу, повному проплавленні товщини фасонки;	1,2	1,4
б) обидва пояси на стінці двотаврового перерізу за умови поступового зменшення до місця обриву ширини і товщини поясу, приєднання стінки до поясів на кінцевій ділянці з повним проплавленням і механічним обробленням переходу поясів до стінки;	1,3	1,6
в) один лист пакета поясу зварної балки зі зменшенням до місця обриву товщини з ухилом не крутіше 1:8 і ширини листа зі зведенням її нанівець з ухилом не крутіше 1:4 і з механічним обробленням кінців швів;	1,2	1,4
г) накладна деталь для посилення ослабленого отворами перерізу елемента (компенсатор ослаблення) у разі симетричного зменшення її ширини зі зведенням нанівець з ухилом не крутіше 1:1 і з механічним обробленням кінців швів	1,2	1,4
11. По основному металу елементів проїзної частини в перерізах за крайнім рядом високоміцних болтів у прикріпленні:		
а) діагоналі поздовжніх в'язей до нижнього поясу поздовжньої балки, а також «рибки» до нижнього поясу поперечної балки;	1,1	1,3
б) фасонки горизонтальної діафрагми до нижнього поясу поздовжньої балки;	1,3	1,5
в) «рибки» до верхнього поясу поздовжньої балки	1,6	1,8
12. По осі стикового шва з повним проплавленням кореня шва:		
а) для автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом і ручного зварювання з контролем за допомогою ультразвукової дефектоскопії (УЗД);	1,0	1,0
б) те саме без контролю УЗД	1,2	1,4

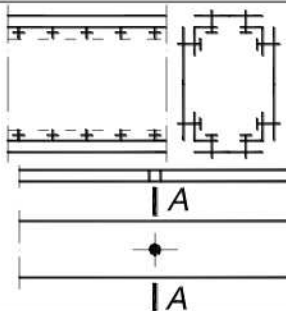
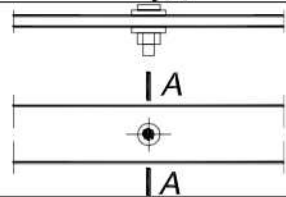
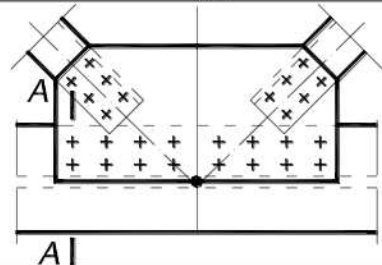
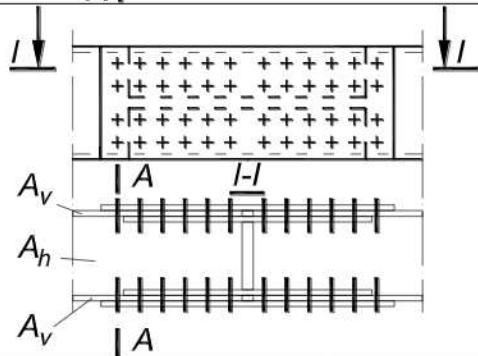
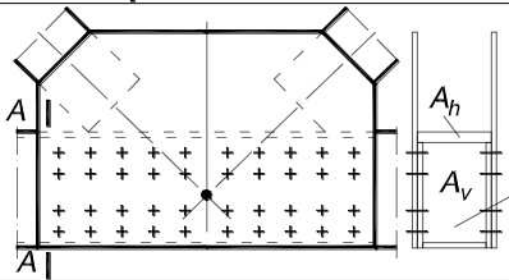
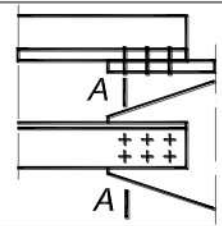
Розташування розрахункового перерізу та характеристика конструкцій	Коефіцієнт β для сталі класу міцності	
	≤ 295	> 295
13. За розрахунковим перерізом кутового шва: а) лобового шва, виконаного зварюванням: ручним; автоматичним і напіваавтоматичним під флюсом; б) флангового шва; в) поздовжнього з'єднувального шва складеного елемента на ділянці його прикріплення до вузла з безпосереднім перекриттям стиковими накладками або вузловими фасонками лише частини перерізу; г) поздовжнього поясного шва балки	2,3 1,9 3,4 1,5 1,7	3,2 2,4 4,4 1,7 1,9
14. По основному металу листа настилу ортотропної плити на ділянці переходу до монтажного стикового шва, виконаного однобічним автоматичним зварюванням під флюсом: а) з накладенням першого шару ручним зварюванням на флюсо-мідній підкладці без механічного оброблення підсилення б) те саме, із механічним обробленням підсилення зі зворотного боку стику в) на скло-мідній підкладці із застосуванням гранульованої металохімічної присадки без механічного оброблення підсилення	2,4 1,6 1,5	2,7 1,8 1,65
15. По основному металу листа настилу ортотропної плити на ділянці переходу до стельового кутового шва його монтажного з'єднання з поясом головної балки або ферми перепуском: а) виконаному ручним зварюванням б) те саме, із застосуванням монтажно-ї смугової вставки, яку приварюють в стик до крайок ортотропних плит, що прикріплюються перепуском до поясу балки	6,4 3,8	7,1 4,2
16. По основному металу листа настилу ортотропної плити в стику з поясом головної балки або ферми, виконаному однобічним автоматичним зварюванням під флюсом на скло-мідній підкладці: а) з накладенням першого шару ручним зварюванням з механічним обробленням підсилення зі зворотного боку стику для однакової товщини листів, що стикаються; б) те саме, для різної товщини листів, що стикаються; в) із застосуванням металево-хімічної присадки, без механічного оброблення підсилення і однакової товщини стикованих листів; г) те саме, для різної товщини стикованих листів	1,6 1,8 1,5 1,7	1,8 2,0 1,65 1,9
17. По основному металу на ділянці вузла перетинання поздовжнього ребра ортотропної плити з поперечним в одноярусній ортотропній плиті: а) поздовжнє ребро проходить через V- подібний виріз з викружками на кінці радіусом від 15 мм до 20 мм у стінці поперечного ребра і приварене до неї з одного боку двома кутовими швами; б) поздовжнє ребро проходить через виріз у стінці поперечного ребра й в опорній пластинці і приварене до неї кутовими швами	2,2 1,3	2,4 1,5
18. Те саме, у двоярусній ортотропній плиті: а) таврове поздовжнє ребро, яке з'єднують із поперечними високоміцними болтами через отвори, просвердлені в полиці поздовжнього і поясі поперечного ребер; б) таврове поздовжнє ребро, яке з'єднують із поперечними спеціальними притисками	1,2 1,1	1,3 1,2
19. По основному металу листа настилу і поздовжніх ребер ортотропної плити по границі швів на ділянці суцільнозварного монтажного		

Розташування розрахункового перерізу та характеристика конструкцій	Коефіцієнт β для сталі класу міцності	
	≤ 295	> 295
поперечного стику ортотропної плити		
а) для суміщених в одному перерізі стику листа настилу та поздовжніх ребер без механічного оброблення підсилення швів;	2,2	2,5
б) із рознесеними від стику листа настилу стикуми поздовжніх ребер без механічного оброблення підсилення настилу стикуми поздовжнього ребра, без механічного оброблення підсилення швів;	2,2	2,4
в) із рознесеними від стику листа настилу обробленими стикуми поздовжнього ребра, з механічним обробленням підсилення зі зворотного боку стику листа настилу	2,1	2,3
20. Те саме, у комбінованому стику – зварного листа настилу, болтовому в ребрах:		
а) із влаштуванням прямокутних округлених вирізів у поздовжніх ребрах, без повного проплавлення їхніх кінцевих ділянок, без механічного оброблення підсилення стикового шва листа настилу;	2,8	3,1
б) із влаштуванням їхніх кінцевих ділянок, з механічним обробленням підсилення шва з оброблених напівкруглих викружок у поздовжніх ребрах, з повним проплавленням зворотного боку настилу	2,1	2,3
в) із обривом поздовжніх ребер поблизу стику листа настилу і постановкою вставки між їхніми торцями, без механічного оброблення підсилення стикового шва листа настилу	1,9	2,1
Примітка 1. m_f – коефіцієнт, що враховує вплив зсувів по контактах з'єднаних елементів та приймають за таблицю І.2 залежно від кількості поперечних рядів болтів n у з'єднанні. Примітка 2. Параметр n визначають: – кількістю поперечних рядів болтів у прикріпленні елемента до фасонки або стикової накладки, якщо цей елемент обривається в цьому вузлі; – загальною кількістю поперечних рядів болтів у прикріпленні фасонки до неперервного елемента.		

Таблиця І.2 – Значення коефіцієнта m_f

n	1–3	4–6	7–8	9–10	11–15	16 і більше
m_f	1,00	1,05	1,12	1,16	1,20	1,23

Таблиця И.3 – Рисунки, на які є посилання в таблиці И.1

	Рисунок И.1 Розташування розрахункового перерізу А–А, яке перевіряють на витривалість за основним металом у перерізах нетто за з'єднувальними болтами складових елементів, а також біля вільного отвору
	Рисунок И.2 Розташування розрахункового перерізу А–А, яке перевіряють на витривалість за основним металом у перерізах нетто в отворі зі вставленим у нього високоміцним болтом, затягнутим нормативним зусиллям
	Рисунок И.3 Розташування розрахункового перерізу А–А, яке перевіряють на витривалість за основним металом у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні фасонки до нестижованих у цьому вузлі поясу суцільних балок і елементів решітчастих ферм
	Рисунок И.4 Розташування розрахункового перерізу А–А, яке перевіряють на витривалість за основним металом у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні до вузла або в стику двостінчастих елементів
	Рисунок И.5 Розташування розрахункового перерізу, яке перевіряють на витривалість А–А за основним металом у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні до вузла або в стику двостінчастих елементів з одностінчними накладками
	Рисунок И.6 Розташування розрахункового перерізу, яке перевіряють на витривалість А–А за основним металом у перерізі бруто за першим рядом високоміцних болтів у прикріпленні до вузла або в стику одностінчастих елементів з одностінчними накладками

Додаток К
(обов'язковий)

З'ЄДНАННЯ НА БОЛТАХ, ЗАКЛЕПКАХ І ПАЛЬЦЯХ

К.1 Загальні положення

(1) Для несних конструкцій мостів застосовують:

– фрикційні з'єднання на високоміцних болтах (болтах з попереднім натягом) і допускаються з'єднання на звичайних болтах (без попереднього натягу);

– з'єднання на пальцях використовують у вузлах для утворення шарнірів.

З'єднання на заклепках допускається використовувати під час реконструкції, капітального ремонту та реставрації споруд.

(2) Для допоміжних конструкцій застосовують звичайні болти.

(3) Кромки деталей, з'єднані звичайними болтами і болтами з попереднім натягом, повинні мати нормовані відхилення за розмірами, перпендикулярністю і шорсткістю, що відповідають класу 2 згідно з [ДСТУ ISO 9013](#).

К.2 Отвори для болтових з'єднань

(1) Для несних і допоміжних конструкцій мостів потрібно застосовувати болти і гайки класу точності С відповідно до [ДСТУ EN 14399](#) (усі частини) та [ДСТУ EN 15048](#) (частини 1, 2).

(2) Для несних конструкцій номінальні діаметри отворів для звичайних і високоміцних болтів потрібно приймати відповідно до таблиці К.1.

(3) Для з'єднань із щільною посадкою діаметри отворів мають дорівнювати діаметрам болтів. Для цього отвори потрібно утворювати за місцем або розточувати з менших на 3 мм отворів після фіксації всіх деталей з'єднання.

(4) Отвори в елементах несних конструкцій з болтовими з'єднаннями потрібно робити свердлінням або лазерним різанням. Лазерне різання виконують для товщин до 20 мм і діаметрів від 12 мм.

Таблиця К.1 – Номінальні зазори між болтом та отвором¹

Діаметри болтів d , мм	12	14	16	18	20	22	24	≥ 27
Нормальні отвори, мм	1 ^{a,b}		2					3
Збільшені отвори, мм	3		4				6	8
Короткі отвори-щілини, мм ^c	4		6				8	10
Довгі отвори-щілини ^c	1,5· d							

^a – для елементів з покриттям номінальний зазор в 1 мм можна збільшити на товщину покриття;
^b – болти діаметром 12 і 14 мм або болти з потайною головкою можна використовувати з зазором 2 мм за умови застосування вимог [ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8](#).
^c – для болтів в отворах-щілинах зазори по ширині приймають як для номінальних круглих отворів.

Допускається утворювати отвори діаметром більше 50 мм за допомогою термічного різання з обов'язковим подальшим механічним розточуванням. Отвори, утворені свердлінням, повинні мати циліндричну форму. Шорсткість поверхні має відповідати $R_z 40 \dots 80$.

(5) З'єднання проєктують компактними, із розташуванням отворів для звичайних і високоміцних болтів, відповідно до таблиці К.2.

(6) Допуски на відхил положення отворів мають відповідати класу 2 відповідно до [ДСТУ EN 1090-2](#), якщо інше не вказано в кресленнях.

(7) Для заповнених болтами отворів фаски на кромках знімати не потрібно. Для вільних отворів знімають фаску 2x2 мм.

¹ На основі значень таблиці 11 [ДСТУ EN 1090-2](#)

Таблиця К.2 – Розташування отворів для звичайних і високоміцних болтів

Відстані між отворами і до кромки фасонки і накладок	Значення
Відстані між центрами болтів $p_1, p_{1,0}$ і $p_{1,i}$:	
а) мінімальна у будь-якому напрямку;	$2,5 \cdot d$
б) максимальна в крайніх рядах: – у листах; – у кутиках (для двох рядів – для ряду біля пера);	$7 \cdot d$ або $16 \cdot t$ 160 мм
в) максимальна в середніх рядах: – вздовж зусиль у разі стиснення; – в інших випадках	$16 \cdot t$ $24 \cdot t$
Відстані від центру болта до кромки елемента e_1 або e_2 :	
а) мінімальна вздовж зусилля e_1 ;	$1,5 \cdot d$
б) мінімальна поперек зусилля e_2 ;	$1,3 \cdot d$
в) максимальна	$8t$ або 80 мм
Відстані між отворами і до кромки фасонки і накладок	Значення
Відстані e_3 або e_4 від осей щілинних отворів до кромки	$1,5 \cdot d$
У таблиці позначено: d – діаметр болта; d_0 – діаметр отворів; t – товщина найбільш тонкого листа в стик	

Примітка 1. Мінімальна відстань від осі болта до вертикальної перешкоди має забезпечити вільне встановлення болта і можливість його натягування.

Примітка 2. Максимальні відстані оцінено за критерієм втрати стійкості стиснутих листів. Для розтягнутих елементів є загроза корозії в щілинах.

Примітка 3. Оцінюють стійкість стиснутої накладки між болтами на довжині, що дорівнює $0,6 \cdot p_1$; перевірка стійкості не потрібна, якщо $p_1/t \leq 15 \cdot \varepsilon$, де $\varepsilon = \sqrt{235/R_y}$. Стійкість стиснутого звису поперек зусилля оцінюють як для пластинки, що оберта з одного боку.

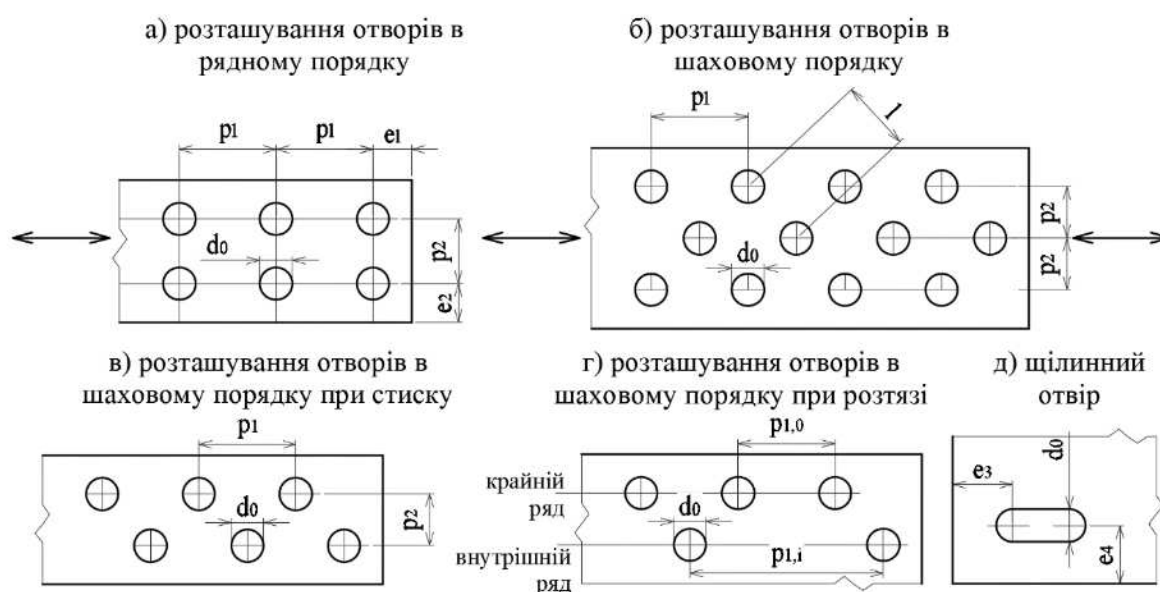


Рисунок К.1 – Схеми розташування отворів у накладках. Позначення

К.3 З'єднання на звичайних болтах**К.3.1 Розрахунки з'єднань на звичайних болтах**

(1) Для з'єднань на звичайних болтах потрібно застосовувати болти класу міцності 3.6; 4.6 і 5.6. Болти класів міцності 4.8; 5.8 та 6.8 не допускається в роботі на розтяг. Допускається застосовувати болти класів міцності 8.8 та 10.9 без попереднього натягу.

(2) Номінальні значення опору текучості R_{yn} і тимчасового опору R_{un} матеріалу болтів у залежності від класів міцності надано в таблиці К.3. Ці значення приймають як характеристичні.

Таблиця К.3 – Номінальні значення опору текучості і тимчасового опору

Клас міцності болта	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
R_{yn} , МПа	180	240	320	300	400	480	640	900
R_{un} , МПа	300	400	400	500	500	600	800	1000

(3) Розрахунки з'єднань потрібно виконувати за першим граничним станом на міцність і для з'єднань, що сприймають циклічне навантаження, – на витривалість. Розрахунки за експлуатаційною придатністю виконують для з'єднань, у яких передбачено можливість заміни елементів.

(4) Для з'єднань на звичайних болтах визначення несної спроможності виконують за формулами:

$$- \text{розрахунки на зминання } F_{s,Ed} / F_{b,Rd} \leq m, \quad (\text{К.1})$$

$$- \text{розрахунки болтів на зріз } F_{s,Ed} / F_{s,Rd} \leq m, \quad (\text{К.2})$$

$$- \text{розрахунки болтів на розтяг } F_{t,Ed} / F_{t,Rd} \leq m, \quad (\text{К.3})$$

де m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1);

$F_{s,Ed}$ і $F_{t,Ed}$ – діючі на болт розрахункові зусилля зсуву та розтягу¹, відповідно;

$F_{s,Ed}$, $F_{b,Rd}$ та $F_{t,Rd}$ – розрахункові опори болта зрізу, зминанню та розтягу.

К.3.1.1 Розрахунки на зминання

(1) Опір на зминання болта знаходять за формулою:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot R_u \cdot A}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{К.4})$$

де k_1 – коефіцієнт, що залежить від відстані між отворами і до кромки поперек зусилля; приймають менше зі значень:

– для крайнього ряду болтів $2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7$ або 2,5;

– для внутрішнього ряду болтів $1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7$ або 2,5;

α_b – коефіцієнт, що залежить від відстані між отворами і до кромки вздовж зусилля;

приймають менше зі значень: α_d , R_{ub} / R_u або 1,0;

– для крайнього ряду болтів $\alpha_d = e_1 / (3 \cdot d_0)$;

– для внутрішнього ряду болтів $\alpha_d = p_1 / (3 \cdot d_0) - 0,25$;

R_u – тимчасовий опір елементів з'єднання;

R_{ub} – тимчасовий опір болта;

¹ У разі виникнення ефекту важеля розрахункову діючу силу розтягу на болт $F_{t,Ed}$ збільшують (див. п. 0.6).

$A=d \cdot t$ – площа, що зминається в одному напрямку: d – діаметр болта;
 t – товщина зминання;

$\gamma_{M2} = 1,25$ – коефіцієнт надійності;

e_1 і p_1 та e_2 і p_2 – відстані від осі отвору до кромки деталі і між отворами вздовж зусилля, та те саме поперек зусилля; позначення e_1 , e_2 , p_1 та p_2 показано на рисунку К.1.

Добуток коефіцієнтів $k_1 \cdot \alpha_b$ для однакових відстаней вздовж і поперек зусилля до кромки $e_1 = e_2$ і між болтами $p_1 = p_2$ надано в таблиці К.1. Відстань між болтами прийнято такою, що дорівнює на діаметр більше, ніж відстань до кромки.

Таблиця К.4 – Кількість діаметрів отворів і добуток коефіцієнтів $k_1 \cdot \alpha_b$

	Кількість діаметрів отворів, d_0											
до кромки	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
між болтами	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
	Добуток коефіцієнтів, $k_1 \cdot \alpha_b$											
Ряд болтів												
крайній	0,66	0,84	1,04	1,25	1,33	1,50	1,7	1,83	2,00	2,17	2,33	2,50
внутрішній	0,67	0,79	0,91	1,05	1,20	1,52	1,8	2,4	2,21	2,38	2,54	2,71

(2) Для з'єднань внапуск з одним рядом болтів (рисунок К.2), опір на зминання знаходять за формулою:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot R_u \cdot A}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{К.5})$$

де R_u – тимчасовий опір елементів з'єднання;

$A=d \cdot t$ – площа, що зминається: d – діаметр болта; t – товщина пакету зминання;

$\gamma_{M2} = 1,25$ – коефіцієнт надійності.

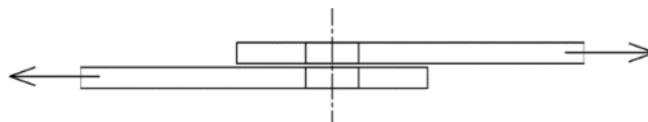


Рисунок К.2 – Схема з'єднання внапуск

(3) Опір болтів на зминання $F_{b,Rd}$ приймають зі знижувальними коефіцієнтами:

0,8 – для отворів більшим за нормальні; значення нормальних отворів надано в таблиці К.1;

0,6 – для щілинних отворів і передавання зусилля поперек довгої сторони отвору.

(4) Для болтів з потайною головкою опір на зминання $F_{b,Rd}$ потрібно визначати за умови, що половину глибини зенкерування вилучають з площі опору.

(5) Опір на зминання $F_{b,Rd}$ можна перевіряти окремо для компонентів навантаження на болт паралельних та перпендикулярних до краю елемента.

К.3.1.2 Розрахунки на зріз

Розрахунковий опір одної площини зрізу знаходять за формулою:

$$F_{s,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot R_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{К.6})$$

де A_s – площа зрізу.

$\gamma_{M2} = 1,25$ – коефіцієнт надійності;

Якщо площа зрізу проходить через різьбу, $A_s = A_{net}$;

$\alpha_v = 0,6$ – для класів болтів 4.6; 5.6 та 8.8;

$\alpha_v = 0,5$ – для класів болтів 4.8; 5.8; 6.8 та 10.9.

Якщо площа зрізу проходить стрижень без різьби, і для зрізу заклепок $A_s = A$:

$\alpha_v = 0,6$ – для всіх класів болтів.

Для болтів класів міцності 4.8; 5.8; 6.8; 8.8 та 10.9 розрахункове значення опору на зріз $F_{s,Rd}$ потрібно множити на 0,85.

К.3.1.3 Розрахунки на розтяг

Розрахунковий опір болта розтягу знаходять за формулою:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot R_{ub} \cdot A_{net}}{\gamma_{M2}}, \quad (K.7)$$

де $k_2 = 0,63$ – для болтів з потайною головкою;

$k_2 = 0,90$ – для болтів в інших випадках;

$k_2 = 0,60$ – для заклепок;

$\gamma_{M2} = 1,25$ – коефіцієнт надійності.

К.3.1.4 Розрахунки на зріз і розтяг

Перевірку міцності болта, який одночасно сприймає зріз і розтяг, виконують за формулою:

$$\frac{F_{s,Ed}}{F_{s,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq m, \quad (K.8)$$

де $F_{s,Ed}$ і $F_{t,Ed}$ – діючі на болт зусилля зрізу та розтягу;

$F_{s,Rd}$ і $F_{t,Rd}$ – опори болта зрізу та розтягу (за формулами (K.6) і (K.7));

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).

Примітка 1. Під час дії в з'єднанні сили, що проходить через центр ваги – розподіл зусиль на болти потрібно прийняти рівномірним. Для випадку дії в площині з'єднання згинального моменту розподіл зусиль на болти потрібно приймати пропорційно до відстані від центру повороту з'єднання до розглядуваного болта. Для випадку одночасної дії сили і моменту в з'єднанні зусилля на болт потрібно приймати від рівнодійного зусилля.

Примітка 2. Болти М12 та М14 можна використовувати також у отворах із зазором, що дорівнює 2 мм, за умови, що розрахункове значення несної здатності групи болтів на зминання більше чи дорівнює розрахунковому значенню несної здатності групи болтів на зріз.

Примітка 3. Болти підвищеної точності потрібно розраховувати аналогічно болтам, що встановлені у нормальні отвори з дотриманням умов:

– різьба не має потрапляти в площину зрізу;

– для розрахунків на зминання різьба має заходити не більше ніж на третину товщини листа t (рисунок К.3).

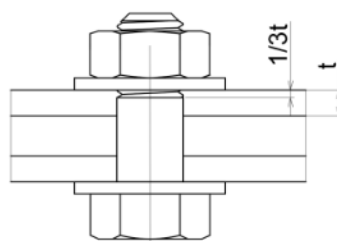


Рисунок К.3 – Схема постановки болта підвищеної точності

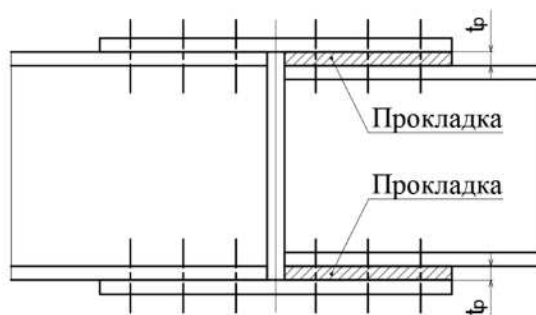


Рисунок К.4 – З'єднання з прокладками

Примітка 4. Опір зрізу чи зминанню болтів і заклепок у з'єднаннях з товстими прокладками потрібно зменшувати. Якщо товщина прокладок більша за третину діаметра болта $t_p \geq 1/3 \cdot d$ (див. рисунок К.4), то розрахунковий опір потрібно помножити на редукційний коефіцієнт β_p , знайдений за формулою:

$$\beta_p = \frac{9 \cdot d}{8 \cdot d + 3 \cdot t_p} \leq 1. \quad (\text{K.9})$$

Примітка 5. Розрахунковий опір фундаментних болтів розтягу R_{ba} знаходять за формулою:

$$R_{ba} = 0,4 \cdot R_{un}. \quad (\text{K.10})$$

Примітка 6. Опір зрізу і розтягу з'єднань на заклепках визначають за формулами:

$$\text{зріз } F_{v,Rd} = 0,6 \cdot R_{ur} \cdot A_0 / \gamma_{M2}, \quad (\text{K.11})$$

$$\text{розтяг } F_{t,Rd} = 0,6 \cdot R_{ur} \cdot A_0 / \gamma_{M2}. \quad (\text{K.12})$$

де A_0 – площа отвору під заклепку (під час клепаання метал заклепки заповнює весь простір);

R_{ur} – тимчасовий опір заклепки; для сталі S 235, $R_{ur} = 400$ МПа, після клепаання.

Товщина пакета, стягненого заклепками, не повинна бути більшою за $4,5 \cdot d$ – у разі клепаання молотком, і $6,5 \cdot d$ – у разі клепаання пресом.

К.3.1.5 Довгі з'єднання

(1) Якщо відстань L_f між центрами крайніх кріпильних деталей, виміряна в напрямку передавання зусилля (див. рисунок К.5), більша $15 \cdot d$, то значення несної здатності усіх кріпильних деталей на зріз $F_{v,Rd}$ потрібно помножити на знижувальний коефіцієнт β_{Lf} , визначений за формулою:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_f - 15 \cdot d}{200 \cdot d}, \quad (\text{K.13})$$

але $\beta_{Lf} \leq 1$ та $\beta_{Lf} \geq 0,75$.

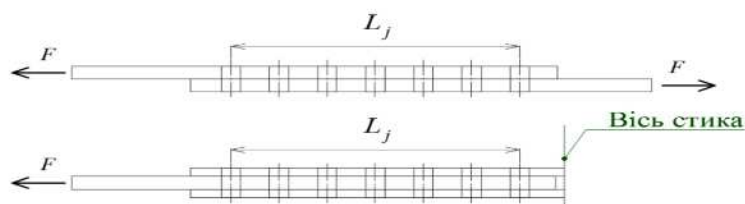


Рисунок К.5 – Довгі з'єднання

(2) Редукційний коефіцієнт β_{Lf} не враховують у разі рівномірного розподілу зрізних сил на болти, наприклад, у передаванні зусилля зсуву між стінкою та полицею поперечного перерізу.

К.3.1.6 Фланцеві з'єднання

(1) Розтягнуті болти у фланцевих з'єднаннях, у прикріпленні полиць тавра, труби або кутиків потрібно перевіряти на додаткову розтягувальну силу, яка може виникнути від ефекту важеля.

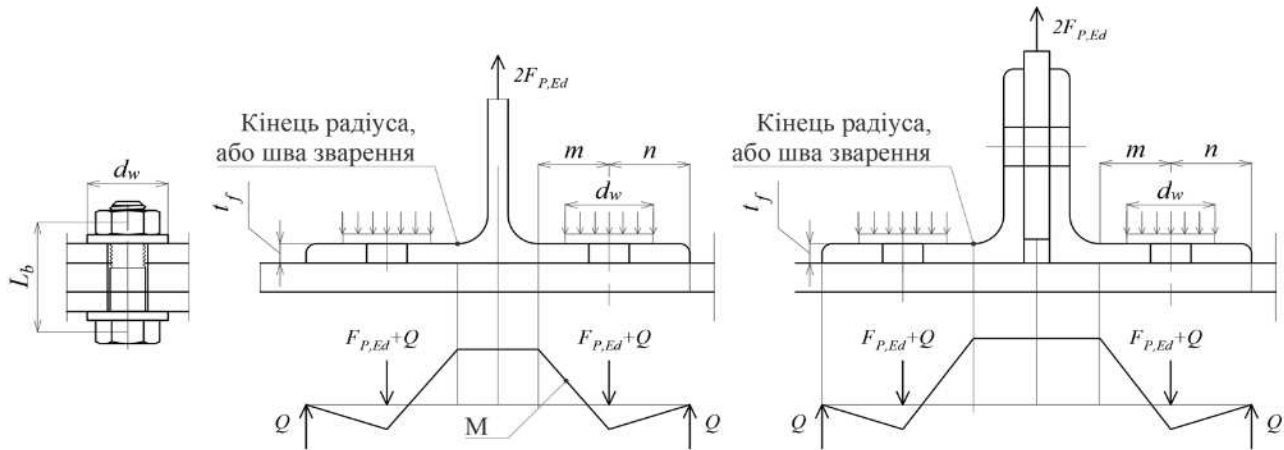


Рисунок К.6 – Схеми для розрахунку ефекту важеля

(2) Розрахунки фланцевих з'єднань виконують згідно з пунктом 6.2.4 [ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8](#).

(3) Додаткову розтягувальну силу Q у фланцевих з'єднаннях на звичайних болтах допускається знаходити як частку від діючої на болт сили $F_{p,Ed}$ за формулою:

$$Q = \left(\frac{3 \cdot m}{8 \cdot n} - \frac{t_f^3}{330000} \right) \cdot F_{p,Ed}, \quad (\text{K.14})$$

де Q – додаткова сила від ефекту важеля (приймають рівною нулю для від'ємного значення);

m – відстань від кінця зварного шва або радіуса закруглення (див. рисунок К.6) до осі отвору;

n – відстань від осі отвору до кромки полиці;

t_f – товщина полиці, що прикріплюють, у мм;

$F_{p,Ed}$ – розрахункова сила розтягу, що припадає на один болт, без урахування ефекту важеля.

(4) Для фланцевих з'єднань рекомендується дотримуватись такого:

– відстань m має бути мінімальною;

– товщина полиці t_f , що прикріплюють, має бути максимальною.

К.4 З'єднання на високоміцних болтах

К.4.1 Фрикційні з'єднання

(1) Фрикційні з'єднання на високоміцних болтах (болтах з попереднім натягом), можна розглядати такими, що працюють сумісно зі зварними швами в комбінованих стиках.

(2) Для фрикційних з'єднань виконують розрахунки за першою групою граничних станів.

(3) Для фрикційних з'єднань застосовують високоміцні болти з попереднім натягом, класів міцності 8.8 і 10.9, класу точності С і діаметрами від 16 мм до 27 мм. Мінімальний вихід торця стрижня болта над гайкою після натягування має становити від 2 мм до 3 мм.

(4) Умова міцності з'єднання за критерієм зсуву:

$$F_{s,Ed} / F_{s,Rd} \leq m, \quad (\text{K.15})$$

де $F_{s,Ed}$ – розрахункове зусилля на з'єднання;

$F_{s,Rd}$ – розрахункове зусилля опору з'єднання;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).

Розрахункове зусилля $F_{s,Rd}$, яке сприймають поверхні тертя з'єднаних елементів, стягнутих високоміцними болтами, визначають за формулою:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M2}} \cdot F_{p,C}, \quad (K.16)$$

де k_s – коефіцієнт, що враховує розмір отворів для болтів (таблиця K.5);

n – кількість болтоконтактів;

μ – характеристичне значення коефіцієнта тертя (таблиця K.6);

$\gamma_{M2} = 1,35$ – коефіцієнт надійності для фрикційних з'єднань;

$F_{p,C}$ – сила попереднього натягу болта, розраховують за формулою:

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot A_b \cdot R_{ub} / \gamma_{M7}, \quad (K.17)$$

A_b – площа поперечного перерізу болта;

R_{ub} – тимчасовий опір матеріалу болтів.

γ_{M7} – коефіцієнт надійності величини натягу; $\gamma_{M7} = 1,1$ – за умови контролю натягу за значенням крутного моменту. За умови використання інших методів натягу, встановлюють за фактичним значеннями заміряних відхилів.

Таблиця K.5 – Значення коефіцієнта k_s

Діаметр болтів, мм	Різниця діаметрів отворів і болтів, мм	k_s
$d \leq 24$	2	1,00
$d \geq 27$	3	
$d < 24$	4	0,85
$d = 24$	6	
$d \geq 27$	8	
Типи пазових отворів	Напрямок переміщень	
довгою стороною $\leq 1,5 d$	Поперек отворів	0,85
	Вздовж отворів	0,76
з довгою стороною $> 1,5 d$	Поперек отворів	0,70
	Вздовж отворів	0,63

(5) Якщо фрикційне з'єднання, крім зусилля зсуву $F_{s,Ed}$ сприймає також розтягувальне зусилля $F_{t,Ed}$, то розрахункову несну здатність на проковзування одного болта визначають зі зменшеним значення зусилля попереднього напруження $F_{p,C}$ за формулою:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M2}} \cdot (F_{p,C} - 0,8 \cdot F_{t,Ed}). \quad (K.18)$$

(6) Якщо у з'єднанні, що сприймає згинальний момент, контактне зусилля на ділянці стиску врівноважує зусилля на ділянці розтягу, то зменшення несної здатності на зсув не враховують.

(7) Коефіцієнти тертя μ залежно від способу підготування контактних поверхонь приймають згідно з таблицею K.6.

Таблиця K.6 – Значення коефіцієнтів тертя

Тип оброблення	Оброблення контактних поверхонь	Коефіцієнт тертя μ
1	Струменеве очищення ¹	0,55
2	Клеєфрикційне покриття накладок ²	0,55
3	Покриття силікатним цинковим ґрунтом ³	0,45
4	Покриття поліуретановим ґрунтом ⁴	0,30

(8) Інші способи оброблення контактних поверхонь можна застосовувати тільки для допоміжних (не несних) мостових конструкцій.

К.4.2 Одночасне врахування фрикційного опору зсуву, зрізу або зминання

(1) Для з'єднань з попередньо напруженими болтами класів 8,8 і 10,9 допускається одночасно з фрикційним опором враховувати опір зрізу або зминання за меншим значенням опору F_{Rd} з двох формул:

$$F_{Rd} = 0,8 \cdot \left(\frac{n \cdot \mu}{\gamma_{M2}} \cdot F_{p,C} + R_{bs} \cdot A \cdot n_s \right), \quad (\text{K.19})$$

$$F_{Rd} = 0,8 \cdot \left(\frac{n \cdot \mu}{\gamma_{M2}} \cdot F_{p,C} + R_{bp} \cdot d \cdot t_{\min} \right). \quad (\text{K.20})$$

(2) Потрібно враховувати таке:

– не можна використовувати комбіновані з'єднання з одночасним застосуванням болтів і зварювання;

– тип оброблення контактних поверхонь має забезпечити стабільність коефіцієнта тертя після початку зсуву з'єднання (падіння коефіцієнта не повинно перевищувати 10 %); дозволено застосовувати дробоструменеве оброблення, клеєфрикційне і етил-силікатне покриття;

– у розрахункових схемах потрібно оцінити зміну напруженого стану конструкції від дії зсуву у з'єднанні. Величину переміщень зсуву допускається приймати такою, що дорівнює величині зазору між діаметрами отворів і болтів.

К.5 Конструктивні вимоги і розрахунки болтових з'єднань

К.5.1 Загальні вимоги

(1) У конструкціях з фрикційними з'єднаннями має бути забезпечено можливість вільного встановлення болтів і умов для їхнього натягування інструментами. У з'єднаннях із прокатних профілів з непаралельними гранями полиць потрібно застосовувати клинові шайби.

(2) Уздовж зусилля має бути встановлено не менше двох болтів. Допускається тільки один ряд болтів від осі стику на стінках балок, за умови, що зусилля від моменту сприймають стики поясів. На стінках головних балок потрібно встановлювати не менше двох рядів болтів.

(3) У прикріпленні стрижня на звичайних болтах кількість болтів у поздовжньому ряду має бути не менше ніж:

3 шт. – для одного ряду;

2 шт. – для двох рядів і понад;

¹ Струменеве очищення накладок та основного металу виконують кварцовим піском фракції (0,6 – 2) мм або сталевим дробом (0,8 – 1,2) мм під дією струменя повітря під тиском (0,4 – 0,5) МПа. Чистота поверхні після оброблення має відповідати класу Sa 2½ відповідно до [ДСТУ ISO 8501-1](#). Шорсткість поверхні $R_z = 40 \dots 100$ – відповідно до [ДСТУ ISO 4287](#).

² Нанесення епоксидного клею на струменеве очищену поверхню накладок з подальшим посипанням на свіжий клей порошку карбіду кремнію фракції SiC 90% 0–3 мм. Іншу контактну поверхню конструкції можна очистити сталевими щітками до ступеня шорсткості St 2 відповідно до [ДСТУ ISO 8501-1](#).

³ Нанесення на струменеве очищену поверхню до класу Sa 2½ накладок та основного металу силікатного цинкового ґрунту шаром 60 мкм в сухому стані (120 мкм в мокрому стані).

⁴ Нанесення на струменеве очищену поверхню до класу Sa 2½ накладок та основного металу поліуретанового ґрунту шаром 60 мкм в сухому стані (120 мкм в мокрому стані).

5 шт. – у випнутій полиці кутикового коротуна.

(4). Стики стінки балки з болтовим з'єднанням має бути перекрито накладками по всій висоті. Стикові накладки поясних кутиків допускається застосовувати у вигляді плоских листів.

(5) Площа перекриття накладками стику з'єднувального елемента має становити не менше ніж 50 % від площі елемента, незалежно від розрахунків накладок на діюче зусилля.

(6) Болти, що з'єднують стінки з поясами складених балок, потрібно розраховувати на зсув як рівнодійної від дії горизонтального і вертикального зсуву. Для горизонтального зсуву рекомендується враховувати різницю температур балок і плити проїзду. Рекомендовано характеристичне значення 10 °С.

(7) Розрахунки болтових з'єднань балкової клітини проїзної частини і поясів головних ферм, а також стиків поперечних балок і поздовжніх ребер ортотропних плит виконують на основі розрахунку зусиль, отриманих у просторових розрахункових схемах з урахуванням локального і глобального навантаження.

К.5.2 Кутиковий коротун

(1) Кутиковий коротун прикріплює кутик (швелер або подібний профіль) до фасонки або схожого елемента. Кінець коротуна має збігатися з кінцем кутика, а інший край коротуна має заходити за край фасонки, як показано на рисунку К.7.

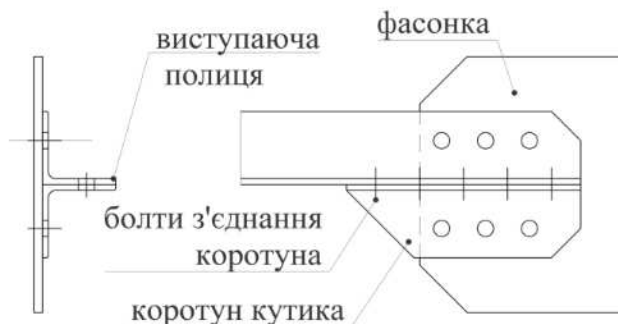


Рисунок К.7 – Кріплення коротуна кутика до робочого кутика

(2) Коротун розраховують на зусилля, що у 1,2 рази більше, ніж зусилля у випнутій полиці кутика, або у 1,4 рази більше, ніж зусилля у випнутій полиці швелера.

(3) Болти, що з'єднують полиці, розраховують на зусилля, що у 1,4 рази більше, ніж зусилля у випнутій полиці кутика, або у 1,2 рази більше, ніж зусилля у випнутій полиці швелера.

К.5.3 Розрахунок вузла на розрив

(1) Умову міцності елементів з'єднання за критерієм розриву внаслідок зрізу і розтягу визначають за формулою:

$$F_{s,Ed} / F_{eff,Rd} \leq m, \quad (K.21)$$

де $F_{s,Ed}$ – розрахункове зусилля на з'єднання;

$F_{eff,Rd}$ – мінімальне розрахункове зусилля опору з'єднання вириву або розриву, знаходять як менше із значень $V_{eff,1,Rd}$ і $V_{eff,2,Rd}$, або $V_{eff,3,Rd}$;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1); (2) Під час розрахунків фрикційних з'єднань потрібно враховувати, що половина зусиль опору зсуву з кожного болта в місці розриву вже передана на з'єднання.

(3) Розрахунок міцності стикових накладок, розтягнутих елементів ферм і поясів суцільних балок виконують із введенням для накладок додаткового коефіцієнта умов роботи $m_q = 0,9$.

(4) Опір розриву накладки або фасонки по перерізу, що з'єднує отвори болтів (рисунок К.8),

розраховують за формулою:

$$V_{eff,3,Rd} = A_{na} \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}. \quad (K.22)$$

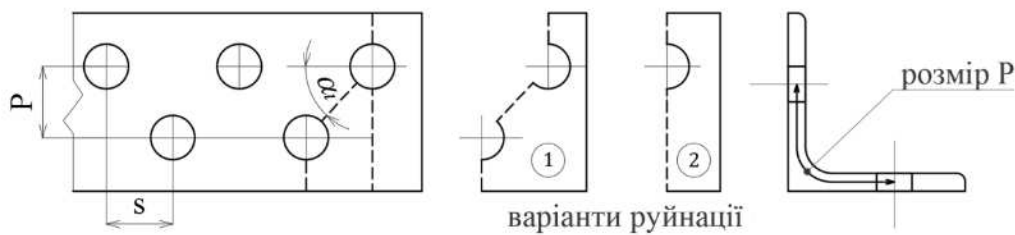


Рисунок К.8 – Схеми руйнування

Для нормального перерізу, за умови $\alpha_i = \pi / 2$, формула (K.21) набуває вигляду:

$$N \leq 0,9 \cdot t \cdot l_i \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}. \quad (K.23)$$

(5) Опір вириву частини елемента під час передавання зсувного зусилля на симетричну групу болтів без ексцентриситету розрахунковий опір розриву вузла, $V_{eff,1,Rd}$, визначають як суму опору розтягу та опору зрізу за формулою:

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{R_{un} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{0,58 \cdot R_{yn} \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}, \quad (K.24)$$

де A_{nt} – площа перерізу нетто ділянки розтягу;

A_{nv} – площа перерізу нетто ділянки зрізу.

(6) Опір вириву частини елемента за умови передавання зсувного зусилля на групу болтів із ексцентриситетом опір розриву вузла, $V_{eff,2,Rd}$, визначають як суму $\frac{1}{2}$ опору розтягу та опору зрізу за формулою:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 \cdot \frac{R_{un} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{0,58 \cdot R_{yn} \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}. \quad (K.25)$$

(7) Схеми розривів вузлів по лініях отворів, що виникають внаслідок зрізу вздовж напрямку зсуву і розривом на ділянці розтягу, показано на рисунку К.9.

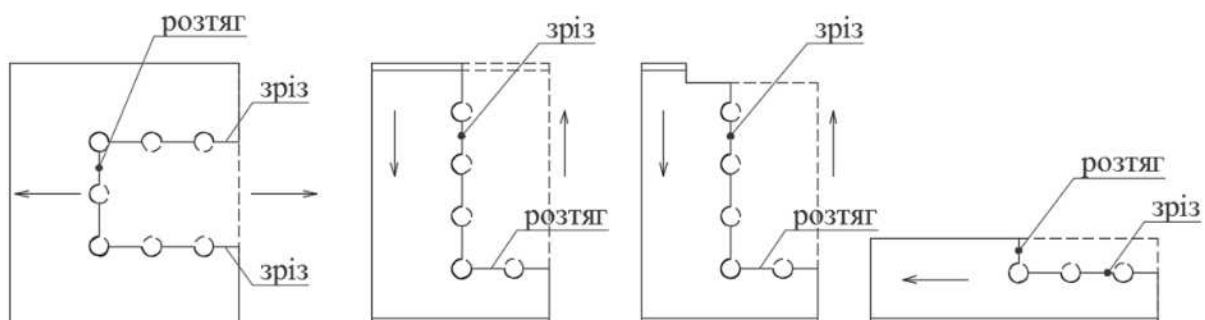


Рисунок К.9 – Схеми вириву частини елемента

У формулах позначено:

R_{un} – тимчасовий опір; характеристичне значення;

R_{yn} – опір текучості; характеристичне значення;

A_{nt} – площа перерізу нетто розтягу;

A_{nv} – площа перерізу нетто зрізу;

$A_{na} = 0,675 \cdot t \sum (0,212 \cdot \alpha_1 + 1) \cdot l_i$ – площа перерізу нетто під кутом до дії сили;

t – товщина вузлової фасонки;

l_i – довжина i -тої ділянки перерізу вузлової фасонки між отворами;

α_i – кут між напрямком i -тої ділянки перерізу і віссю елемента ($0 \leq \alpha_i \leq \pi/2$), рад (рисунок К.8).

К.5.4 Одиночні кутики, прикріплені однією полицею, та інші розтягнені несиметрично прикріплені елементи

(1) Умову міцності кутика розриву визначають за формулою:

$$N_{Ed} / N_{u,Rd} \leq m, \quad (\text{К.26})$$

де N_{Ed} – розрахункове діюче зусилля на кутик;

$N_{u,Rd}$ – розрахункове зусилля опору;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).

(2) Наявність ексцентриситету у з'єднаннях, а також відстані між отворами і до краю елемента впливають на розрахункові опори з'єднань таких елементів:

– несиметричних;

– симетричних, але несиметрично прикріплених (наприклад, кутики, прикріплені однією полицею).

(3) Розтягнений одиночний кутик, прикріплений однією полицею одним рядом болтів (див. рисунок К.10), можна розглядати як навантажений без ексцентриситету по ефективному перерізу нетто, для якого несну здатність визначають за формулами:

$$\text{кріплення одним болтом } N_{u,Rd} = \frac{2 \cdot (e_2 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t \cdot R_{un}}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{К.27})$$

$$\text{кріплення двома болтами } N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot R_{un}}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{К.28})$$

$$\text{кріплення трьома і більше болтами } N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot R_{un}}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{К.29})$$

де β_2 та β_3 – знижувальні коефіцієнти, що залежать від кроку отворів (див. таблицю К.7);

A_{net} – площа кутика нетто;

t – товщина полиці кутика;

R_{un} – тимчасовий опір кутика (характеристичне значення);

d_0 – діаметр отвору;

p_1 і p_2 – відстані від отворів (див. рисунок К.10).

Таблиця К.7 – Значення коефіцієнтів β_2 і β_3

Відстань між отворами, p_1	$\leq 2,5 \cdot d_0$	$\geq 5 \cdot d_0$
β_2 , для двох болтів	0,4	0,7
β_3 , для трьох та більше болтів	0,5	0,7
Для проміжних значень p_1 коефіцієнти β допускається визначати інтерполяцією.		

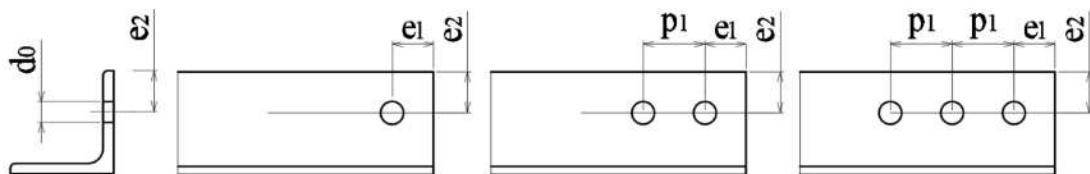


Рисунок К.10 – Кутики, закріплені одною полицею. Позначення

К.5.5 Розподіл зусиль між болтами у граничному стані

(1) Для пружних розрахунків розподіл зусиль між болтами (болтоконтактами для фрикційних з'єднань) від дії згинального моменту можна приймати пропорційним відстані від центру повороту. Для пластичних розрахунків допускається будь-яке зрівноважене розподілення за умови, що опір складових елементів не перевищені є резерв пластичних деформацій.

(2) Пружне лінійне розподілення внутрішніх зусиль застосовують у таких випадках:

– у фрикційних з'єднаннях на високоміцних болтах;

– у зрізних з'єднаннях, якщо розрахункова несна здатність кріпильної деталі на зріз $F_{s,Rd}$

менше розрахункової несної здатності на зминання $F_{b,Rd}$;

– якщо з'єднання зазнає динамічне навантаження.

(3) У разі дії на з'єднання тільки зусилля зсуву без ексцентриситету розподіл зусиль між болтами можна вважати рівномірним, за умови, що всі болти мають один розмір та один клас міцності.

К.6 З'єднання на ін'єкційних болтах

(1) З'єднання на ін'єкційних болтах можна застосовувати як альтернатива звичайним болтам та заклепкам тільки за відповідних обґрунтувань.

(2) Проектування і розрахунки з'єднань на ін'єкційних болтах виконують відповідно до [ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8](#).

К.7 З'єднання на пальцях

(1) У з'єднаннях на пальцях під навантаженням стиску або розтягу в площині провушин допускають повороти навколо осі пальця.

(2) Якщо повороти під час експлуатації не передбачено, то розрахунки виконують як для одноболтового з'єднання.

(3) Рухомі з'єднання на пальцях мають працювати в межах пружності.

(4) Основні елементи з'єднань на пальцях: 1) палець; 2) провушини; 3) фіксатори пальців. Можливі тонкі прокладні антифрикційні листи між провушинами і герметичне заповнення порожнин

силіконом.

(5) Позначення розмірів з'єднання на пальцях і основні схеми розрахунків надано на рисунку К.11.

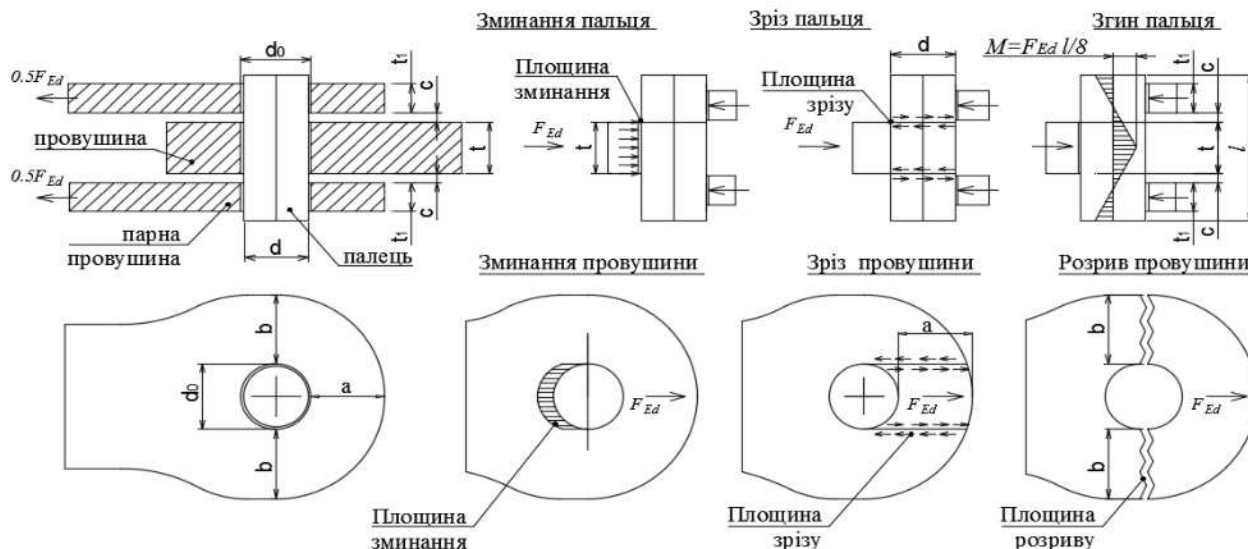


Рисунок К.11 – Конструкція провусин та схеми розрахунків

(6) Під час визначення параметрів провусин сумарну товщину парних провусин приймають не менше товщини одиночної провусини $2 \cdot t_2 \geq t_1$, якщо конструкцією не передбачене інше.

(7) Клас міцності провусини і парних провусин приймають однаковим. Клас міцності пальця потрібно приймати більшим.

(8) Діаметр пальця d оцінюють за опором зрізу і згину. Перевірку на згин виконують залежно від призначення з'єднання. Для заданого значення діаметра оцінюють розміри провусини і її товщину t_1 . Розмір a та розмір b має забезпечити приблизну рівність опору провусини зрізу по лінії a і розриву від розтягу по лініям b . Товщину приймають для розрахунків на зминання. У зв'язку з тим, що діючий момент згину пальця залежить від товщини провусин, потрібно повторити перевірку пальця на згинання.

(9) Умову міцності з'єднань на пальцях визначають за формулою:

$$F_{p,Ed} / F_{p,Rd} \leq m, \quad (\text{K.30})$$

де $F_{p,Ed}$ – розрахункове зусилля;

$F_{p,Rd}$ – розрахункове зусилля опору;

m – коефіцієнт умов роботи (за таблицею 7.1).

(10) Розрахунки опору з'єднань на пальцях, що показано на рисунку К.11, виконують відповідно формул, наданих у таблиці К.8.

Таблиця К.8 – Розрахунки опору з'єднань на пальцях

Вид відмови пальця	Проектні вимоги
Опір пальця на зріз	$F_{s,Rd} = 0,64 \cdot n \cdot R_{um,p} / \gamma_{M2} \geq F_{Ed}$
Опір пальця на зминання*	$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot R_{yn,p} / \gamma_{M2} \geq F_{Ed}$
Те саме, за можливості заміни пальця*	$F_{b,Rd} = 0,6 \cdot t \cdot d \cdot R_{yn} / \gamma_{M6,ser} \geq F_{Ed,ser}$

Опір пальця згину Те саме, за можливості заміни пальця	$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_{el} \cdot R_{yn,p} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$ $M_{Rd} = 0,8 \cdot W_{el} \cdot R_{yn} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Опір пальця на спільну дію зрізу та згину**	$(M_{Ed} / M_{Rd})^2 + (F_{Ed} / F_{s,Rd})^2 \leq 1$
Вид відмови центральної провушини	Проектні вимоги
Опір провушини на зминання Те саме, за можливості заміни пальця	$F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t \cdot d \cdot R_{yn,pl} / \gamma_{M2} \geq F_{Ed}$ $F_{b,Rd} = 0,6 \cdot t \cdot d \cdot R_{yn,pl} / \gamma_{M6,ser} \geq F_{Ed,ser}$
Опір провушини зрізу	$F_{s,Rd} = 0,6 \cdot a \cdot t \cdot n \cdot R_{yn,pl} / \gamma_{M2} \geq F_{Ed}$
Вид відмови центральної провушини	Проектні вимоги
Опір провушини розриву	$F_{t,Rd} = b \cdot t \cdot n \cdot R_{yn,pl} / \gamma_{M2} \geq F_{Ed}$
* – розрахунок виконують, якщо клас міцності пальця менший за клас міцності провушини. ** – перевірку виконують тільки для з'єднань, в яких передбачено заміну пальця. d – діаметр пальця; a – відстань від краю отвору до кромки провушини вздовж зусилля; b – відстань від краю отвору до кромки провушини поперек зусилля; c – проміжок між площинами листів провушин; A – площа пальця; t – товщина провушини; $n = 2$ – кількість площин зрізів; $R_{un,p}$ – тимчасовий опір пальця; характеристичне значення; $R_{yn,p}$ – опір текучості пальця; характеристичне значення; $R_{un,pl}$ – тимчасовий опір провушини; характеристичне значення; $R_{yn,pl}$ – опір текучості провушини; характеристичне значення; F_{Ed} – розрахункова сила на провушину; $F_{Ed,ser}$ – сила на провушину у граничному стані за експлуатаційною придатністю від характеристичних навантажень; M_{Ed} – розрахунковий момент у пальці; $M_{Ed} = F_{Ed} \cdot l / 8$, де $l = t + 4 \cdot c + 2 \cdot t_1$ (див. позначення на рисунку К.11) c – проміжок між площинами листів провушин; t_1 – товщина парної провушини; $M_{Ed,ser}$ – діючий момент у пальці у граничному стані за експлуатаційною придатністю від характеристичних навантажень; $M_{Ed} = F_{Ed,ser} \cdot l / 8$.	

(11) Якщо передбачено можливість заміни пальця, то має бути виконано додаткову вимогу для обмеження напружень на контактних поверхнях за формулою:

$$\sigma_{h,Ed} \leq R_{h,Rd}, \quad (\text{K.31})$$

$$\text{де діючі напруження } \sigma_{h,Ed} = 0,59 \cdot \sqrt{E \cdot F_{Ed,ser} \cdot (d_0 - d) / (d^2 \cdot t)}, \quad (\text{K.32})$$

$$\text{граничні напруження } R_{h,Rd} = 2,5 \cdot R_{ym} / \gamma_{M6,ser}; \quad (\text{K.33})$$

d_0 – діаметр отвору.

Інші позначення надано вище.

(12) У разі посилення провущин накладними листами біля отворів, шви приєднання накладних листів потрібно розраховувати на зсув і мати шви з ухилом 1:2, а внутрішні щілини в отворах заварено косметичними швами (3 мм) і механічно зачищено.

(13) У розрахункові площі зрізу і розриву допускається включати переріз швів (рисунок К.12).

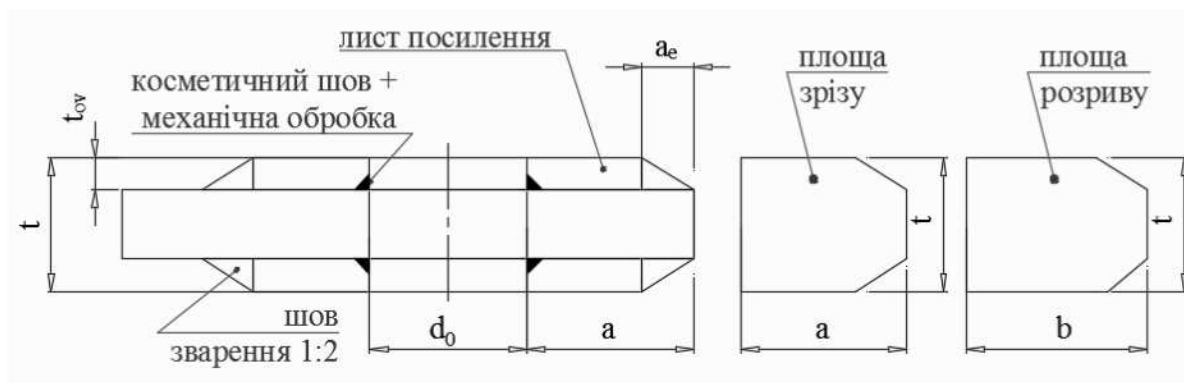


Рисунок К.12 – Схема посилення провущин накладними листами

Додаток Л
(обов'язковий)
СТАЛЕВІ КАНАТНІ ЕЛЕМЕНТИ

Л.1 Загальні вимоги

Л.1.1 Розтягнуті сталеві елементи, зазначені в цьому додатку, застосовують для таких елементів мостів:

- підвіси аркових та висячих мостів;
- ванти вантових мостів;
- несні кабелі висячих і вантових мостів;
- елементи для вітрових розтяжок мостів;
- розтягнуті елементи для створення попереднього напруження сталевих конструкцій мостів;
- розтягнуті елементи для з'єднання елементів мосту між собою;
- розтягнуті елементи для нежорсткого приєднання балок жорсткості до опор.

Л.1.2 Розтягнуті елементи поділяють на три групи (див. таблицю Л.1). Типи розтягнутих елементів наведено в таблицях Л.9 – Л.13.

Таблиця Л.1 – Групи розтягнутих елементів

Група	Складові розтягнутого елемента	Тип розтягнутого елемента
А	Суцільний стрижень	Різні розтягнуті елементи
В	Круглий дрiт	Спiральний канат-пасмо
	Круглий та Z-подiбний дрiт	Канат закритого типу
	Круглий дрiт та пасмо з дротiв	Дротовий трос
С	Круглий дрiт	Канат з паралельних дротiв (КПД)
	Круглий дрiт	Пучок з паралельних дротiв
	7-ми дротове пасмо	Пучок з паралельних пасм

Примітка 1. У мостових спорудах допускається застосовувати елементи із суцільним поперечним перерізом за умови перевірки витривалості цих елементів на циклічні рухомі навантаження і врахування вітрових навантажень. Для ланцюгів висячих мостів і вант застосування елементів із суцільним поперечним перерізом допускається як архітектурне рішення.

Примітка 2. Група В охоплює спіральні пасма та канати, що мають на кінцях анкери (із холодною чи гарячою фіксацією дротів), які виготовлені заздалегідь і мають діаметри до 180 мм.

Примітка 3. Група С – продукція потребує спеціальних анкерів та спеціального захисту від корозії.

Л.1.3 Типи анкерів для виробів групи В та С можуть бути такими:

- анкери з металевим або клейовим заповненням;
- анкери із цементним заповненням;
- анкери із затискними пристроями;
- затискні анкери;
- U-подібна стяжка;
- анкери пучків за допомогою клинів, холодної деформації головок дротів, гайок на стрижнях.

Л.2 Основа для проєктування

Л.2.1 Канатні розтягнуті елементи (груп В і С) потрібно проєктувати за першою (міцність) та другою (експлуатаційна придатність) групами граничних станів.

Л.2.2 Перевірку міцності виконують за формулою:

$$N_{Ed} / N_{Rd} \leq m, \quad (\text{Л.1})$$

де N_{Ed} – граничне розрахункове зусилля в канатному елементі;

N_{Rd} – граничне допустиме значення опору канатного елемента, визначають за формулою:

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk} \cdot m_k}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{Л.2})$$

N_{Rk} – характеристичне значення розривного зусилля канатного елемента з анкерами (приймають за даними виробника);

m – коефіцієнт умов роботи, приймають за таблицею 7.1;

m_k – коефіцієнт умов роботи канатного елемента, визначають за формулою:

$$m_k = m_1 \cdot m_2, \quad (\text{Л.3})$$

$m_1 = 0,8$ коефіцієнт умов роботи для несних канатних елементів мостів;

$m_2 = 1,0$ коефіцієнт умов роботи для канатів без перегинання;

$m_2 = 0,9$ коефіцієнт умов роботи для канатів, які перегнуті на сідлі, у сепараторі або в стяжці;

$\gamma_{M2} = 1,6$ – коефіцієнт надійності каната, приймають за таблицею 7.3.

Розрахункові коефіцієнти для розрахунків міцності канатів наведено в таблиці Л.2.

Таблиця Л.2 – Коефіцієнти для розрахунків міцності канатів

Призначення мосту	Перегинання навколо радіуса R	γ_{M2}	m	$m_k = m_1 \cdot m_2$		N_{Ed} / N_{Rk}
				m_1	m_2	
Залізничний	ні	1,6	0,9	0,8	1,0	0,450
	так				0,9	0,405
Пішохідний	ні				1,0	0,450
	так				0,9	0,405
Всі інші	ні	1,0	1,0		1,0	0,500
	так				0,9	0,450

Для розтягнутих елементів групи А значення граничного розрахункового опору N_{Rd} знаходять за формулою:

$$N_{Rd} = \min(m_3 \cdot N_{u,Rk} / \gamma_{M2}; N_{y,Rk} / \gamma_{M0}), \quad (\text{Л.4})$$

де $m_3 = 0,6$ якщо руйнування елемента може спричинити руйнування споруди; $m_3 = 0,9$ в інших випадках;

$N_{u,Rk} = A_n \cdot R_{un}$ і $N_{y,Rk} = A_n \cdot R_{yn}$ – характеристичне значення опору розтягнутого елемента розриву і текучості, відповідно;

A_n, R_{un}, R_{yn} – площа нетто, тимчасовий опір і опір текучості елемента;

γ_{M0} і γ_{M2} – коефіцієнти надійності розтягнутого прокатного елемента, які приймають за таблицею 7.3.

У разі відсутності даних заводу виробника про характеристичне значення розривного зусилля канатного елемента з анкерами, це значення визначають за формулою:

$$N_{Rk} = N_{\min} \cdot s, \quad (\text{Л.5})$$

де $N_{\min}$ – мінімальне розривне зусилля каната загалом;

s – коефіцієнт зменшення несної спроможності за рахунок ослаблення опору в анкерах (таблиця Л.3).

Таблиця Л.3 – Коефіцієнт зменшення несної спроможності

Типи анкерів	Коефіцієнт s
Металеве заповнення анкера	1,0
Клейове заповнення анкера	1,0
Затискний анкер-провушина	0,9
Затискний анкер	0,9
U-болт	0,8

$$N_{\min} = k \cdot d^2 \cdot R_r / 1000 \text{ (кН)}, \quad (\text{Л.6})$$

де k – коефіцієнт мінімального розривного зусилля, який приймають відповідно до таблиць Л.10, Л.11, Л.12;

d – діаметр каната в мм;

R_r – мінімальне розривне напруження дротів каната, МПа.

Перегинання канатів допускається навколо радіуса R , більшого або рівного 30 діаметрам каната d , та більше ніж 400 діаметрів дротів. Граничні бокові напруження на спіральні мостові та канати закритого типу (якщо немає інших даних) допускається приймати за таблицею Л.4.

Таблиця Л.4 – Граничні бокові напруження на спіральні мостові канати та канати закритого типу

Тип каната	Граничний поперечний тиск, МПа	
	твердий контакт	м'який контакт
Канати закритого типу	40	100
Спіральні канати	25	60

Додаток: м'який контакт утворюється за рахунок прокладок алюмінію тощо

Л.2.3 Експлуатаційний граничний стан

(1) Обмеження деформацій або вібрацій

Примітка. Надмірні деформації і коливання можуть спричинити зміни в жорсткості системи, зміни в попередньому напруженні елементів та зміни в опорі зсуву на стяжних пристроях (сідлах).

(2) Умови пружної роботи

Примітка. Має бути збережено пружність канатного елемента на всіх експлуатаційних етапах навантаження; роботу каната можна вважати пружною, якщо нелінійна складова становить менше ніж 5 %.

(3) Обмеження напружень у канаті від характеристичних навантажень виконують для того, щоб:

1. Витримувати напруження в пружному стані під час спорудження та під час експлуатації.

2. Витримувати обмеження в подовженнях для запобігання утворенню тріщин у захисних оболонках, наповненнях оболонок тощо.

Граничне значення напружень знаходять за формулою:

$$\sigma_{Rk} = N_{Rk} / A_{cross}, \quad (\text{Л.7})$$

де A_{cross} – площа металевого перерізу.

Обмеження роблять для стадії монтажу (таблиця Л.5) та для стадії експлуатації (таблиця Л.6).

Таблиця Л.5 – Обмеження напружень σ_{oper} для стадії спорудження

Стадії монтажу	σ_{oper}
Перший канатний елемент тільки на декілька годин	$0,60 \cdot \sigma_{Rk}$
Після установлення інших канатних елементів	$0,55 \cdot \sigma_{Rk}$

Таблиця Л.6 – Обмеження напружень σ_{inst} для стадії експлуатації

Стадії експлуатації	σ_{inst}
Напруження з урахуванням напружень від згинання	$0,50 \cdot \sigma_{Rk}$
Напруження без урахування напружень від згинання	$0,45 \cdot \sigma_{Rk}$

Л.3 Жорсткості канатних елементів

Л.3.1 Модуль пружності канатів приймають за даними виробника. Для канатів групи «В», тобто для спіральних канатів, модуль пружності є змінним і залежить від кількості початкових навантажень і від величини навантаження. Виробник має визначати модуль деформації після стабілізації властивостей каната.

Л.3.2 Для попередніх розрахунків значення модуля пружності дозволено приймати за даними таблиці Л.7.

Таблиця Л.7 – Значення модуля пружності

№	Канатні елементи	Модуль пружності, E_Q , [кН/мм ²]	
		сталеві дроти	сталеві нержавкі дроти
1	Суцільні стрижні	210	–
2	Спіральні мостові канати	150 ± 10	130 ± 10
3	Канати закритого типу	160 ± 10	–
4	Дротовий трос	від 80 до 110	–
5	Канат з паралельних дротів (КПД)	205 ± 5	–
6	Пучок з паралельних дротів	205 ± 5	–
7	Пучок з паралельних пасм	195 ± 5	–

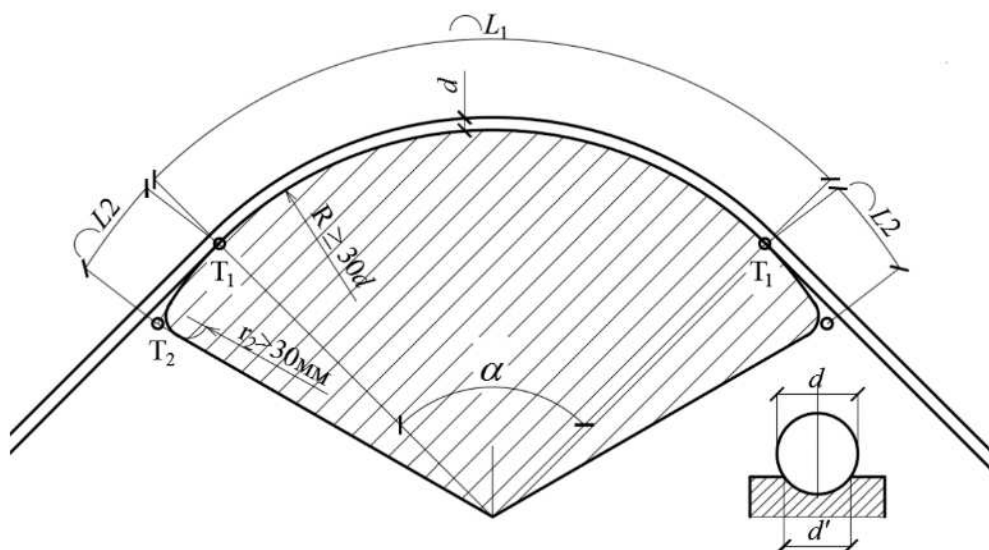
Примітка. Модуль пружності E_Q відповідає навантаженню Q

Л.4 Основа проектування сідла

Л.4.1 За відсутності більш точних розрахунків розміри сідла потрібно приймати як наведено на рисунку Л.1. Радіус сідла R допускається зменшувати до 20 діаметрів каната, якщо застосовано покриття каната м'яким металом або цинком товщиною не менше ніж 1 мм.

Л.4.2 Менші діаметри допускається приймати за умови застосування спіральних канатів і якщо таку можливість підтверджено результатами тестів.

Л.4.3 Просування канатів на сідлі не допускається.

**Рисунок Л.1** – Конфігурація сідла

На рисунку позначено:

L_1 – довжина каната на контакті з сідлом від характеристичних найбільш несприятливої комбінації навантажень, ефект провисання канатів;

L_2 – додаткове ложе для контакту; $L_2 \geq 0,03 \cdot L_1$;

R – радіус сідла має бути не менше ніж 30 діаметрів каната або 400 діаметрів дротів каната;

d – діаметр каната;

d' – діаметр відбитка, для оцінювання напружень на контакті каната з сідлом.

Л.5 Витривалість

(1) Витривалість канатних елементів виконують відповідно до додатка М.

(2) Витривалість канатних елементів перевіряють приймаючи категорію деталі $\Delta\sigma_c$ (поріг витривалості для 2 млн циклів) відповідно до таблиці Л.8.

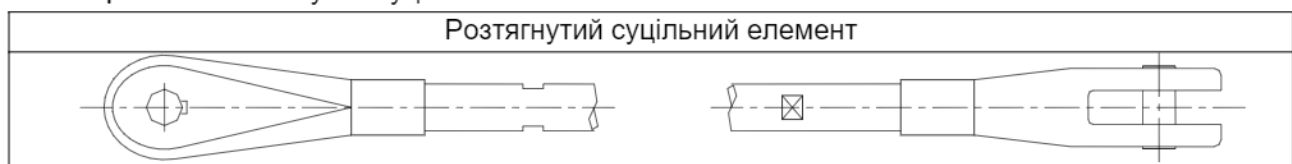
Таблиця Л.8 – Категорії деталі $\Delta\sigma_c$

Група	Канатні елементи		Категорія деталі , $\Delta\sigma_c$, МПа
A	1	Суцільні стрижні (попередньо напружені)	105
B	2	Канати закритого типу з металевим або клейовим заповненням анкерів	150
	3	Спіральні канати з металевим або клейовим заповненням анкерів	150
C	4	Канати з паралельних дротів з клейовим заповненням анкерів	160
	5	Пучок з паралельними пасмами	160
	6	Пучок з паралельними дротами	160

Л.6 Групи канатних елементів та анкерні з'єднання

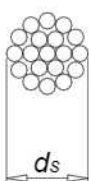
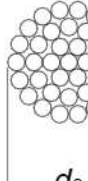
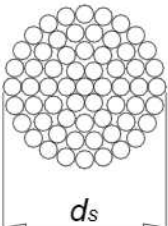
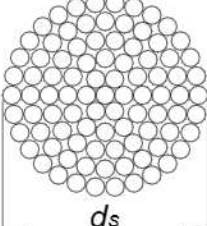
Л.6.1 В таблиці Л.9 наведено розтягнуті елементи групи А.

Таблиця Л.9 – Розтягнутий суцільний елемент

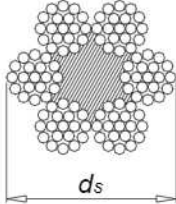
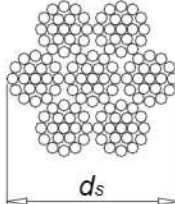
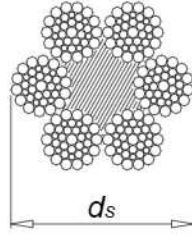
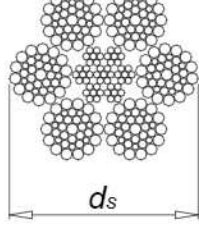


Л.6.2 Розтягнуті елементи групи В, а саме спіральні канати, дровові троси, канати закритого типу наведено в таблицях Л.9, Л.11 та Л.12, відповідно.

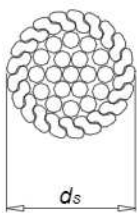
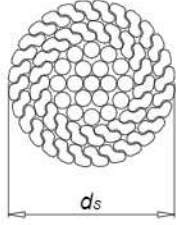
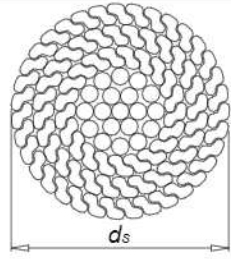
Таблиця Л.10 – Спіральні канати

Спіральні канати				
Характеристики				
Конструкція	1x19	1x37	1x61	1x91
Діаметр d_s , мм	від 3 до 14	від 6 до 36	від 20 до 40	від 30 до 52
Кількість пучків, шт.	1	1	1	1
Кількість дротів, шт.	19	37	61	91
Коефіцієнт C	0,60	0,59	0,58	0,58
Коефіцієнт k	0,525	0,520	0,510	0,510

Таблиця Л.11 – Дротові троси

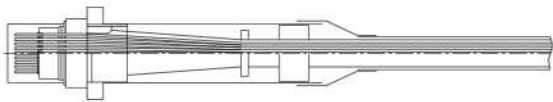
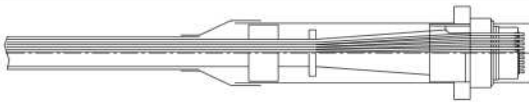
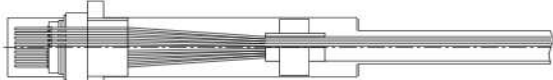
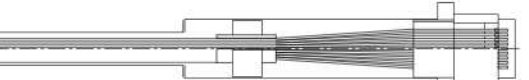
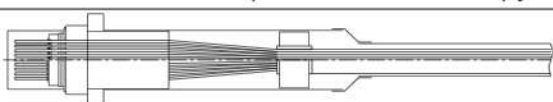
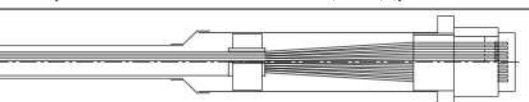
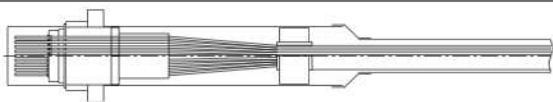
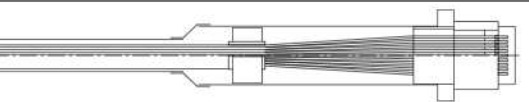
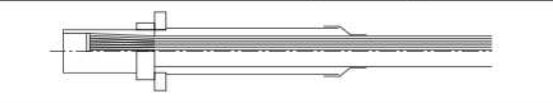
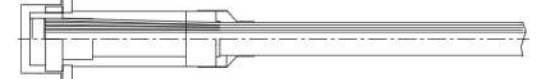
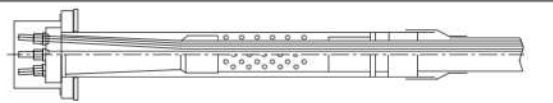
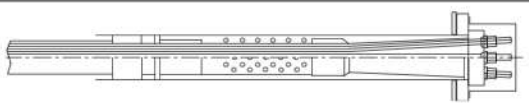
Дротові троси				
Характеристики				
Конструкція	6x19-CF	6x19-CWS	6x36WS-CF	6x36WS-CWR
Діаметр d_s , мм	від 6 до 40	від 6 до 40	від 6 до 40	від 6 до 40
Кількість пучків, шт.	6	6	6	6
Дротів у пасмі, шт.	18	18	36	36
Коефіцієнт C	0,357	0,414	0,393	0,455
Коефіцієнт k	0,307	0,332	0,329	0,355

Таблиця Л.12 – Канати закритого типу

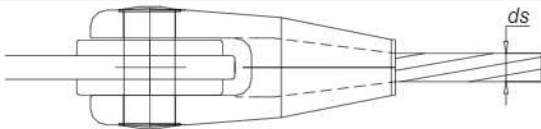
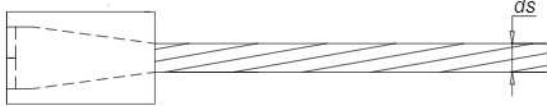
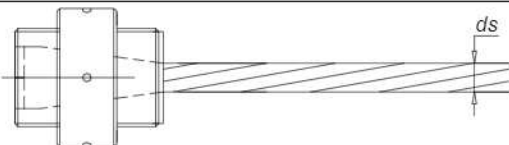
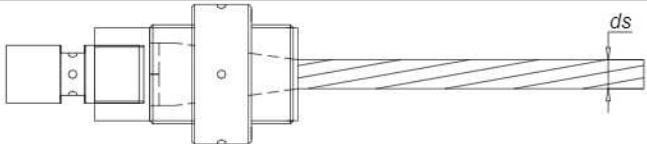
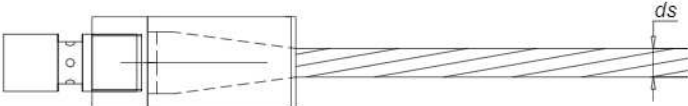
Канати закритого типу			
Характеристики			
	1 шар Z-дротів	2 шари Z-дротів	3 + шарів Z-дротів
Діаметр d_s , мм	від 20 до 40	від 25 до 50	Від 40 до 180
Відхил, Δd_s	+5%	+5%	+5%
Коефіцієнт C	0,636	0,660	0,700
Коефіцієнт k	0,585	0,607	0,643

Л.6.3 У таблиці Л.13 наведено розтягнуті елементи групи С.

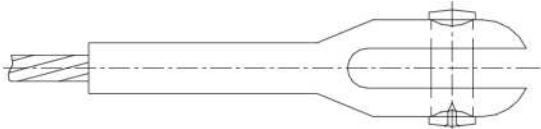
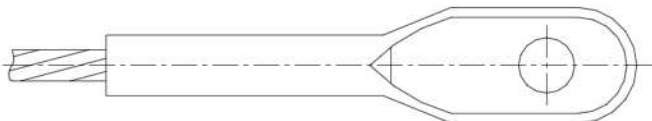
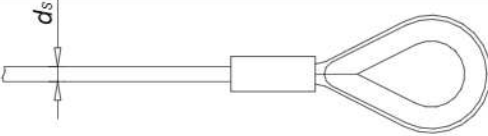
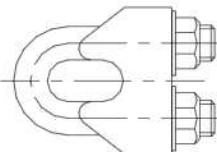
Таблиця Л.13 – Розтягнуті елементи з живими анкерами

Розтягнуті елементи з живими анкерами	
Клинове анкерення з подальшим заповненням цементним розчином – РЕ або ЕР захищені дроти	
	
Клинові анкери з опорною плитою – РЕ захищені дроти	
	
Клинові анкери з заповненням труб цементним розчином – РЕ захищені дроти	
	
Клинові анкери з заповненням труб воском – РЕ захищені дроти	
	
Анкерення дротів за допомогою заливки компаундом	
	
Анкерення дротів з висадженими головками і епоксидним заповненням	
	
Анкер для одного стрижня	
	
Анкери для багатьох стрижнів зі сталеву обіймою та цементним розчином	
	

Таблиця Л.14 – Анкерні стакани, заповнені металевим або клейовим компаундом

Анкерні стакани, заповнені металевим або клейовим компаундом	
Відкритий анкер	
Циліндричний анкер	
Конічний анкер з внутрішньою різьбою і штоком для натягування	
Циліндричний анкер із зовнішньою різьбою і опорною шайбою	
Циліндричний анкер із зовнішньою і внутрішньою різьбою і опорною шайбою і штоком	
Циліндричний анкер з внутрішньою різьбою і штоком (для натягування)	

Таблиця Л.15 – Анкери з обтиснутими канатами

Анкери з обтиснутими канатами	
Відкритий обтиснутий анкер	
Закритий обтиснутий анкер	
Обтиснутий анкер з різьбою	
Коуш з обтиснутим алюмінієм	
U- болт	

Додаток М
(обов'язковий)
ОРТОТРОПНІ ПЛИТИ

М.1 Ортотропні плити автопроїзду. Конструктивні вимоги

М.1.1 Ортотропні плити під автомобільний транспорт проєктують, ґрунтуючись на перерізах, формах вирізів і відстанях, отриманих експериментально під час експлуатації і випробувань фрагментів плит на витривалість. Незалежно від наданих параметрів потрібно виконувати розрахунки перерізів елементів і перерізів швів зварювання.

М.1.2 Товщину листа настилу, визначену на основі випробувань покриття проїзду без пошкоджень протягом розрахункового строку експлуатації, надано в таблиці М.1.

М.1.3 Ортотропні плити під рух автомобільного транспорту з відкритими поздовжніми ребрами повинні відповідати параметрам, наданим на рисунку М.1 і в таблиці М.2.

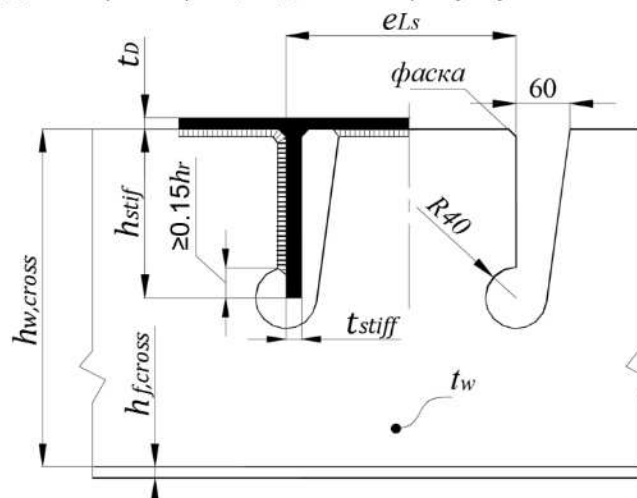


Рисунок М.1 – Автомобільні плити. Відкрите ребро

М.1.4 Ортотропні плити під рух автомобільного транспорту з замкненими поздовжніми ребрами повинні відповідати параметрам, наданим на рисунку М.2 і в таблиці М. 2.

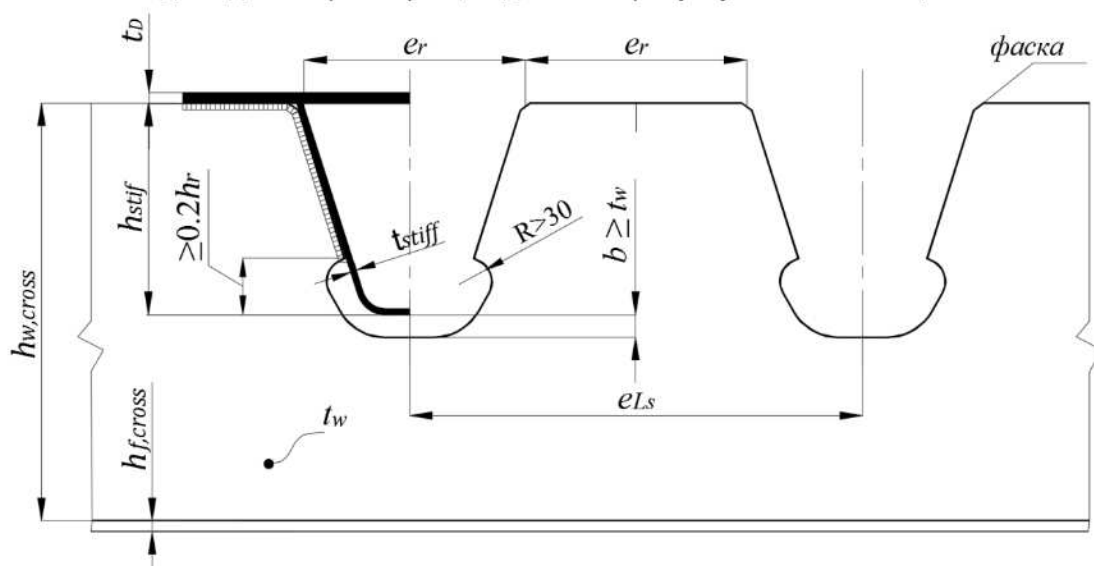


Рисунок М.2 – Автомобільні плити. Замкнене ребро

Таблиця М.1 – Товщина покриття і настилу плит під автомобільне навантаження

№№	Параметр	Символ	Тонке полімерне	Асфальт	Асфальт
1	Товщина покриття проїзду, мм	h_s	6–10	40–60	≥ 80
2	Товщина листа настилу, мм	t_D	≥ 16	≥ 16	≥ 14

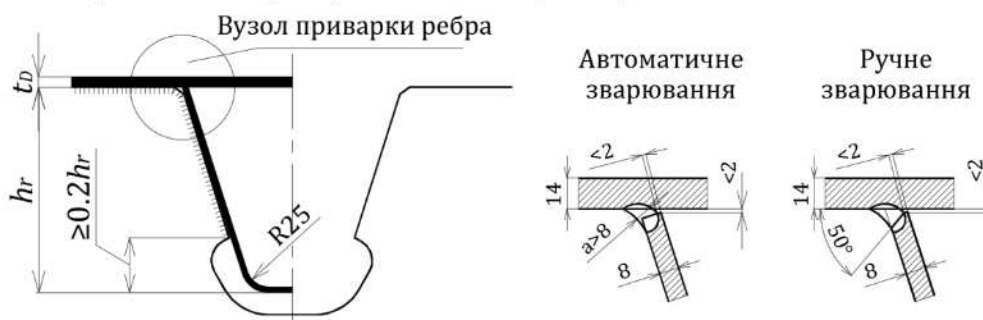
Таблиця М.2 – Параметри плит під автомобільне навантаження

Параметри	Відкриті ребра	Замкнені ребра
Товщина листа настилу, t_D	$t_D \geq 14$	
Відстань між ребрами, e_{Ls}	$e_{Ls} \leq 300$	$e_{Ls} \leq 600$
Відстань між стінками ребер, e_r		$e_r \leq 300$
Висота ребра, h_{stiff}	$h_{stiff} \approx 200$	$h_{stiff} \approx 300$
Відстань між поперечними балками, l	$l \leq 3000$	$l \leq 6000$
Висота стінки поперечних балок, h_{cross}	$h_{cross} \geq 2 \cdot h_{stiff}$	
Товщина ребра, t_{stiff}	$t_{stiff} \geq 12$	$6 \leq t_{stiff} \leq 10$
Товщина стінки поперечної балки, $t_{w,cross}$	$t_{w,cross} \geq 12$	
Товщина поясу поперечної балки, $t_{f,cross}$	$t_{f,cross} \geq 12$	

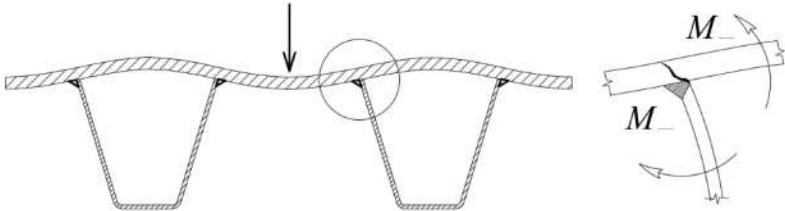
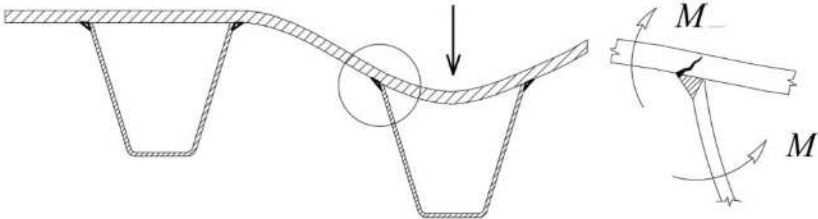
М.1.5 Поперечні балки повинні мати тавровий переріз. У стінках рядових поперечних балок потрібно утворювати вирізи в стінках для пропуску поздовжніх ребер, форму яких наведено на рисунках М.1 і М.2.

М.1.6 Поздовжні ребра потрібно приварювати з повним проплавленням до стінок крайніх поперечних балок (без вирізів), а відстань між рядовою і крайньою балками зменшувати до 60 % від рядових відстаней.

М.1.7 Особливу увагу має бути приділено якості шва приварення ребра до листа настилу. На заводі шов виконують автоматичним зварюванням без оброблення кромки, водночас переріз шва має бути не меншим, ніж товщина ребра і забезпечувати повне проплавлення. За умови використання ручного зварювання «в стелю» під час збирання плит потрібно обробляти кромку. Для обох типів зварювання непровар не повинен перевищувати 2 мм.

**Рисунок М.3** – Шов приварювання замкнутого ребра до листа настилу

Таблиця М.3 – Механізм появи тріщин утоми

	поява тріщини з внутрішнього боку ребра в корені шва
	поява тріщини з зовнішнього боку ребра в п'яті шва

Поява втомних тріщин найбільш вірогідна в місці однобічного зварного з'єднання замкнутого поздовжнього ребра до листа настилу. Механізм появи втомних тріщин у цих місцях показано в таблиці М.3.

М.1.8 Потрібно обмежити товщину ребра і пов'язати її з товщиною листа настилу за схемою:

- для товщини ребра – 6 мм – мінімальна товщина листа настилу 12 мм;
- для товщини ребра – 8 мм – мінімальна товщина листа настилу 14 мм;
- для товщини ребра – 10 мм – мінімальна товщина листа настилу 16 мм.

М.2 Ортотропні плити пішохідних мостів. Конструктивні вимоги

М.2.1 Ортотропні плити під рух пішоходів і одиночний проїзд автомобіля повинні мати параметри, наведені в таблиці М.4.

Таблиця М.4 – Параметри плит під пішохідне навантаження

Параметри	Відкриті ребра	Замкнені ребра
Товщина листа настилу, t_D	$t_D \geq 10$	
Відстань між стінками ребер, e_r	$e_r \leq 600$	
Висота ребра, h_{stiff}	за розрахунками	
Відстань між поперечними балками, e_{crossb}	за розрахунками	
Висота стінки поперечних балок, h_{cross}	$h_{cross} \geq 1,8 \cdot h_{stiff}$	
Товщина ребра, t_{stiff}	$t_{stiff} \geq 10$	$4 \leq t_{stiff} \leq 8$
Товщина стінки поперечної балки, $t_{w,cross}$	$t_{w,cross} \geq 8$	
Товщина поясу поперечної балки, $t_{f,cross}$	$t_{f,cross} \geq 8$	

М.2.2 Ортотропні плити пішохідних мостів розраховують на міцність і стійкість. Розрахунки на витривалість виконувати не потрібно.

М.3 Ортотропні плити під рух потягів. Конструктивні вимоги

М.3.1 Ортотропні плити під рух потягів на баласті проєктують, ґрунтуючись на перерізах, формах вирізів і відстанях, отриманих експериментально під час експлуатації і випробувань фрагментів плит на витривалість. Незалежно від наданих параметрів потрібно виконувати розрахунки перерізів елементів і перерізів швів зварювання.

М.3.2 Розрізняють два типи конструкції плит: а) плити з поздовжніми і поперечними ребрами; б) плити з поперечними ребрами.

М.3.3 Ортотропні плити під рух потягів на баласті з відкритими поздовжніми ребрами повинні відповідати параметрам, наданим на рисунку М.4 і в таблиці М.4.

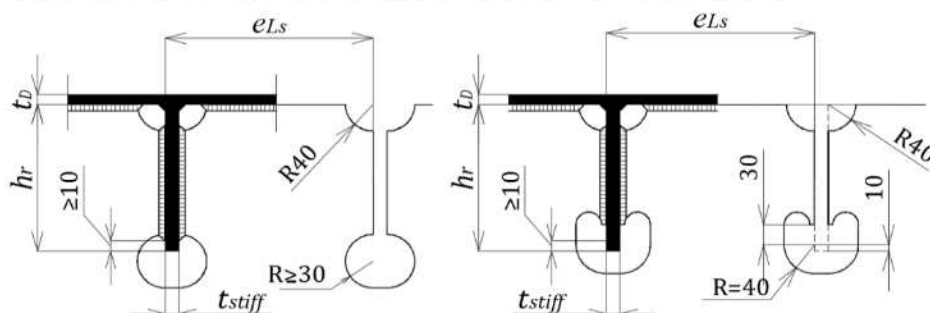


Рисунок М.4 – Залізничні плити. Відкрите ребро

М.3.4 Ортотропні плити під рух потягів на баласті з замкненими поздовжніми ребрами повинні відповідати параметрам, наданим на рисунку М.5 і в таблиці М.5.

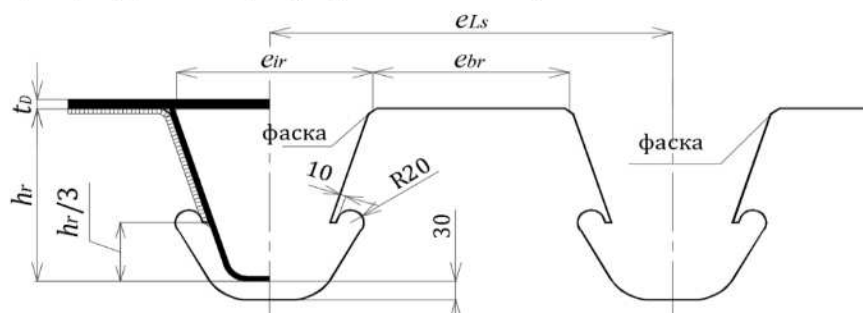


Рисунок М.5 – Залізничні плити. Замкнене ребро

М.3.5 Як поздовжні ребра в ортотропних плитах потрібно використовувати два типи перерізів ребер: штабові і замкнені – трапецієподібного перерізу. Допускається використовувати таврові ребра.

М.3.6 Поздовжні ребра потрібно підтримувати поперечними балками, діафрагмами або напівдіафрагмами. У стінках поперечних ребер потрібно утворювати вирізи в стінках для пропускання поздовжніх ребер, форму яких наведено на рисунках М.4 і М.5.

Таблиця М.5 – Параметри плит з поздовжніми ребрами під рух потягів на баласті

Параметри	Відкриті ребра	Замкнені ребра
Товщина листа настилу, t_D	$t_D \geq 14$	
Відстань між ребрами, e_{Ls}	$e_{Ls} \approx 400$	$600 \leq e_{Ls} \leq 900$
Відстань від крайнього ребра, e_E	$e_E \geq e_{Ls}$	
Відстань між поперечними балками, e_{crossb}	$l \leq 2700$	$2500 \leq l \leq 3500$
Відношення висоти ребер до висоти балок, h_{stiff} / h_{cross}	$h_{stiff} / h_{cross} \leq 0,5$	$h_{stiff} / h_{cross} \leq 0,4$
Товщина ребра, t_{stiff}	$t_{stiff} \geq 12$	$6 \leq t_{stiff} \leq 10$
Товщина стінки поперечної балки, $t_{w,cross}$	$t_{w,cross} \geq 12$	$12 \leq t_{w,cross} \leq 20$
Товщина поясу поперечної балки, $t_{f,cross}$	$t_{f,cross} \geq 10$	

М.3.7 Поздовжні ребра потрібно приварювати з повним проплавленням до стінок крайніх поперечних балок (без вирізів), а відстань між рядовою і крайньою балками зменшувати до 60 % від рядових відстаней.

М.3.8 Параметри для плит без поздовжніх ребер наведено в таблиці М.6.

М.3.9 Розрахунки плит без поздовжніх ребер і поперечних перерізів головних балок потрібно виконувати з використанням ефективних площ за рахунок втрати стійкості листа на силу, не підкріпленого ребрами.

Таблиця М.6 – Параметри плит без поздовжніх ребер під рух потягів на баласті

Параметри	Без поздовжніх ребер
Товщина листа настилу, t_D	$t_D \geq 14$
Відстань між поперечними балками, l	$l \approx 700$
Відстань до крайньої поперечної балки, e_E	$e_E \leq 400$
Товщина стінки поперечної балки, $t_{w,cross}$	$t_{w,cross} \geq 10$
Товщина поясу поперечної балки, $t_{f,cross}$	$t_{f,cross} \geq 10$

М.3.10 У разі застосування ортотропних плит для їзди потягів по баласту витривалість вузлів плити рекомендується перевіряти згідно з додатком К.

М.3.11 Оцінюють жорсткість поздовжнього ребра користуючись графіком, наданим на рисунку М.6.

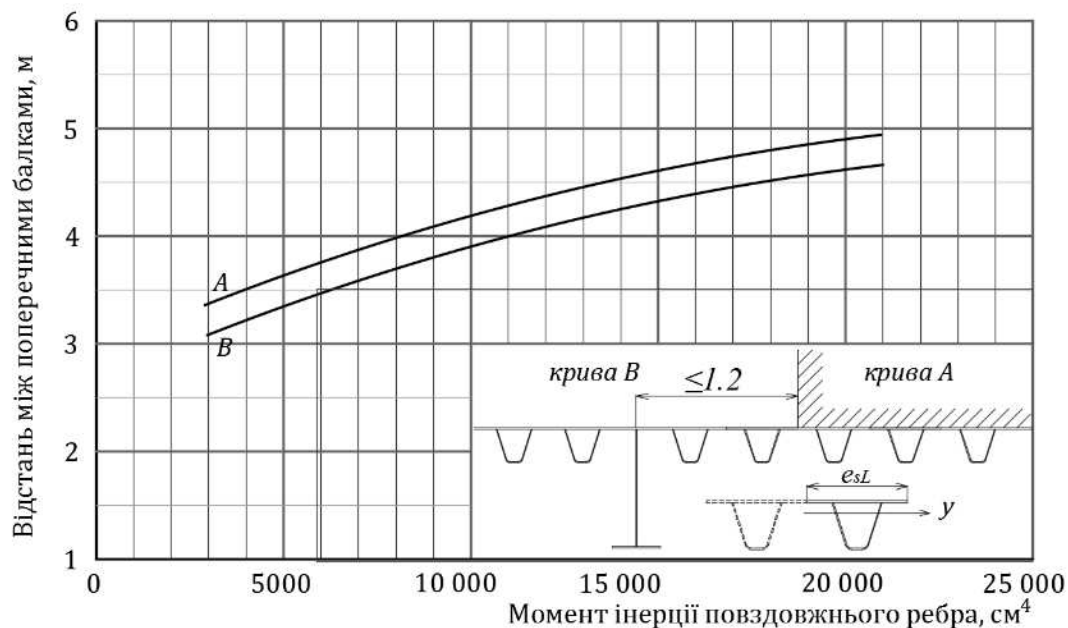


Рисунок М.6 – Графік оцінювання жорсткості ребра на згин

М.4 Розрахунки плит під автомобільний рух

М.4.1 Визначення зусиль у плитах

М.4.1.1 Зусилля в перерізах поздовжніх ребер і в поперечних балках потрібно визначати від дії розрахункових локальних і глобальних навантажень для розрахунків міцності і стійкості, та розрахункових локальних навантажень для розрахунків витривалості.

М.4.1.2 Глобальні навантаження у вигляді нормальних напружень визначають для отримання найбільшого стиску або розтягу в ребрах для найбільш несприятливої розрахункової ситуації.

М.4.1.3 Як локальне навантаження на плиту приймають навантаження від власної ваги і рухомого навантаження. Для тандемів АК і візків НК розподіл сили від колеса приймають на площу відбитка $a \times b$ на поверхні покриття товщиною h_s . Розмір відбитка для візка АК становить $a = 0,2$ м і $b = 0,6$ м, а для візка НК, $a = 0,2$ м і $b = 0,8$ м.

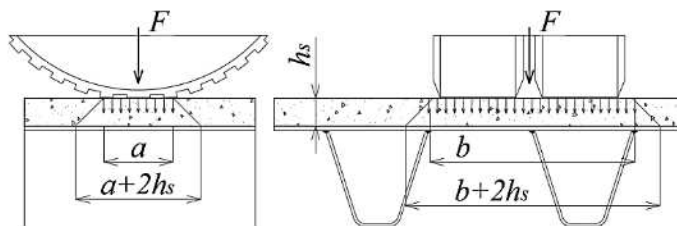


Рисунок М.7 – Схема розподілу тиску F від умовного колеса на плиту

М.4.1.4 Зусилля в перерізах поздовжніх ребер і поперечних балок розраховують із використанням плитно-стрижневих схем (рисунок М.8).

Під час визначення жорсткості елементів схеми в склад поперечного перерізу потрібно включати ділянку листа настилу певної ширини.

Для поздовжніх ребер ширину поясу приймають рівною відстані між осями ребер e_{sL} . Допускається, під час визначення напружень у відкритому ребрі у склад верхнього поясу включати ширину, що дорівнює $1,1 \cdot e_{sL}$.

Розрахункову ширину верхнього поясу поперечної балки b_{eff} приймають меншою, ніж відстань між балками L , за рахунок ефекту запізнення дотичних напружень.

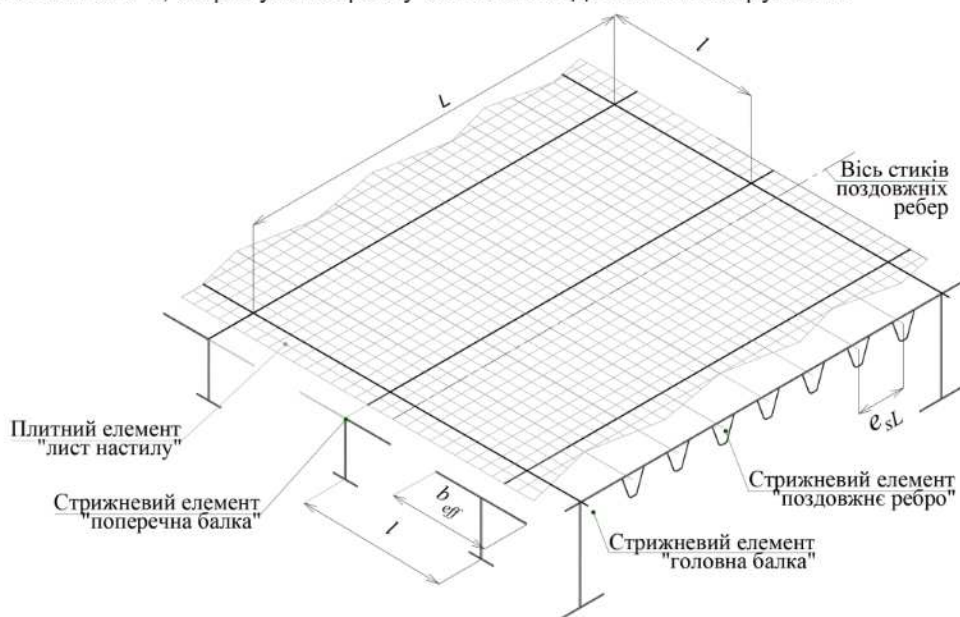


Рисунок М.8 – Розрахункова схема плити для визначення зусиль

Допускається приймати $b_{eff} = 0,25 \cdot L \leq l$ для поперечної балки або $b_{eff} = 0,3 \cdot C \leq l$ – для консольної частини балки, де L – прогін поперечної балки між стінками головних балок (точками обпирання); C – виліт консолі поперечної балки.

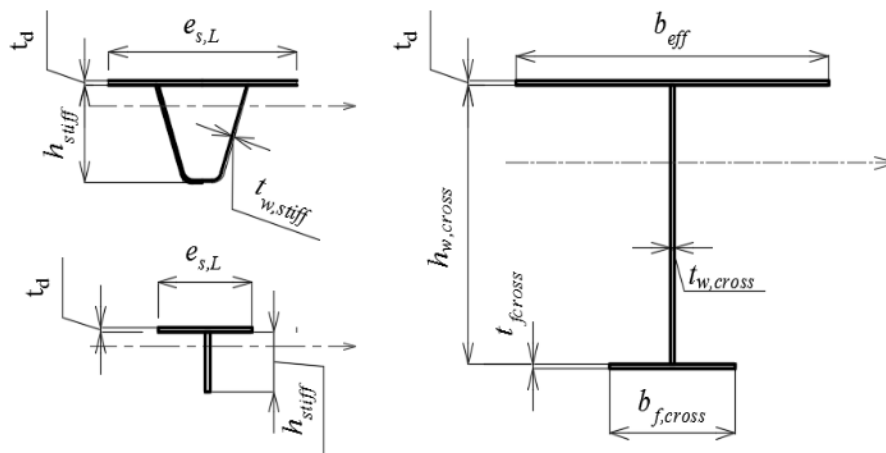


Рисунок М.9 – Перерізи поздовжніх ребер і поперечних балок. Позначки

Для замкнених поздовжніх ребер потрібно задавати жорсткість на кручення; момент інерції на кручення допускається визначати за формулою:

$$I_T = \frac{4 \cdot A^2}{\sum s_i / t_i}, \quad (\text{М.1})$$

де A – площа замкненого контуру, утвореного ребром;

S_i – площа замкненого контуру, утвореного ребром;

t_i – товщина i -того відрізка контуру.

Для відкритих ребер і поперечних балок жорсткість на кручення враховувати не потрібно. У таблиці М.7 позначено знаком «+» необхідні жорсткості для складання розрахункової схеми.

Таблиця М.7 – Жорсткість для відкритих ребер і поперечних балок

Елементи	Осьова жорсткість, EA	Згинальна жорсткість, EI	Жорсткість на кручення, GI_T
Поздовжнє ребро відкрите	+	+	–
Поздовжнє ребро замкнене	+	+	+
Поперечна балка	+	+	–
Лист настилу	плитний елемент з товщиною листа настилу		

М.4.1.5 Характерні зусилля від дії локальних навантажень визначають для перерізів поздовжніх ребер і поперечних балок, наведені на рисунку М.10 і в таблиці М.8. Крім обов'язкових екстремальних значень згинальних моментів $M_{x,\min}^{\max}$ або поперечних сил $Q_{\max}$, може бути враховано відповідні значення інших компонентів зусиль Q_{rel} , M_{rel} і N_{rel} , якщо вони впливають на результат проєктування.

Таблиця М.8 – Характерні розрахункові точки плити

Точка	Потрібні для розрахунків зусилля в перерізах			Відповідні розрахунки
Поздовжні ребра				
C_1	$M_{y,min}$	Q_{rel}	$N_{x,rel}$	Розрахунки стиснутих ділянок ребер
C_2	$M_{y,min}^{max}$	–	–	Розрахунки на витривалість у стиках
C_3	$M_{y,max}$	–	$N_{x,rel}$	Розрахунки розтягнутих ділянок ребер
Поперечна балка				
B_1	$M_{x,min}$	Q_{rel}	$N_{y,rel}$	Розрахунки на примикання до стінки
B_2	$M_{x,max}$	–	$N_{y,rel}$	Нижній пояс розтягнутий
B_3	$M_{x,min}^{max}$	Q_{max}	$N_{y,rel}$	Розрахунки стиків
B_4	$M_{x,rel}$	Q_{max}	$N_{y,rel}$	Розрахунки стінки балки між ребрами
У таблиці нижній індекс «rel»– означає відповідне значення				

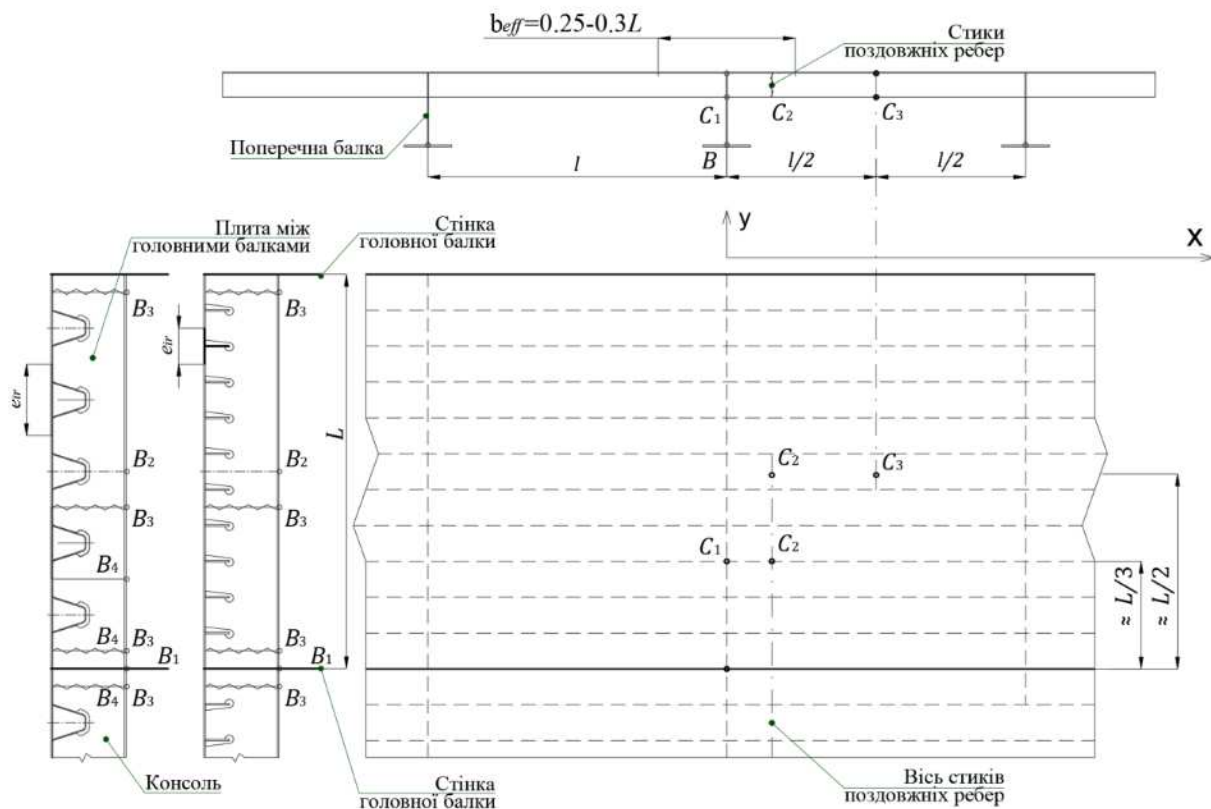


Рисунок М.10 – Схема розрахунку плит

М.4.1.6 Результати розрахунків ортотропних плит із застосуванням методу МСЕ, за типами, наведеними в таблиці М.9, де в розрахункових схемах враховано геометричну нелінійність та недосконалість виготовлення плит, потрібно використовувати тільки для дослідження розподілу напружень.

Таблиця М.9 – Характерні розрахункові точки плити

№	Геометрична нелінійність	Недосконалість виготовлення	Приклад використання
1	Ні	Ні	Розподіл нормальних напружень по ширині плити від її роботи з головними балками
2	Ні	Ні	Розрахунки напружень у плиті від місцевого навантаження
3	Так	Ні	Розрахунки напружень зігнуто-стиснутої плити за деформованою схемою та розрахунки на стійкість плити
4	Так	Так	Розрахунки напружень стиснутої плити за деформованими схемами та розрахунки на стійкість плити

М.4.2 Розрахунки на міцність і поздовжніх ребер плит

М.4.2.1 Під час розрахунку міцності поздовжніх ребер від сумісної дії глобальних і локальних впливів правила оцінювання міцності ребер потрібно розрізняти. Якщо нижню кромку ребра стиснуто, то сумарні напруження вздовж ребра потрібно обмежити опором текучості в крайній фібрі. Якщо кромку розтягнуто, то можлива поява обмежених значенням 0,0025 пластичних деформацій. Розрахунки на міцність нижньої кромки ребра перевіряють за формулою:

$$\sigma_x \leq 1,4 \cdot R_{yn} \cdot m, \text{ нижню кромку розтягнуто,} \quad (\text{М.2})$$

$$\sigma_x \leq R_{yn} \cdot m, \text{ нижню кромку стиснуто,} \quad (\text{М.3})$$

де σ_x – сумарні напруження від дії локальних і глобальних навантажень;

R_{yn} – опір текучості (характеристичне значення);

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1). Використовують тільки для суміщених автомобільних і під залізницю мостів, за умови, коли глобальні напруження від проїзду потягів спричиняють напруження в плиті під автомобільний транспорт понад 50 % від сумарних.

М.4.2.2 Міцність листа настилу перевіряють за формулою:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \leq 1,1 \cdot R_{yn} \cdot m, \quad (\text{М.4})$$

де σ_x , σ_y і τ_{xy} – сумарні напруження від дії локальних і глобальних навантажень у напруженій точці листа настилу.

М.4.3 Розрахунки на міцність стінок поперечних балок плит

М.4.3.1 Порядок розрахунків можна звести до такої послідовності.

1. Визначення поперечної сили в перерізі поперечної балки в проміжку між ребрами Q_k .

2. Визначення величини сили зсуву стінки між вирізами для ребер, за формулою:

$$V_k = Q_k \cdot S \cdot e_{sl} / I,$$

де Q_k – поперечна сила;

I – момент інерції перерізу балки;

S – статичний момент зсуву листа настилу, відносно перерізу А–А (див. рисунок М.11);

e_{sl} – відстань між ребрами в осях.

3. Визначення моменту у перерізі А–А, за формулою: $M_k = h \cdot V_k$,

де h – плече листа настилу відносно перерізу А–А.

4. Визначення напружень у перерізі А–А, за лінійним законом розподілу напружень:

$$\sigma_{y,A-A} = M_k / W_{A-A},$$

де W_{A-A} – момент опору перерізу стінки А–А.

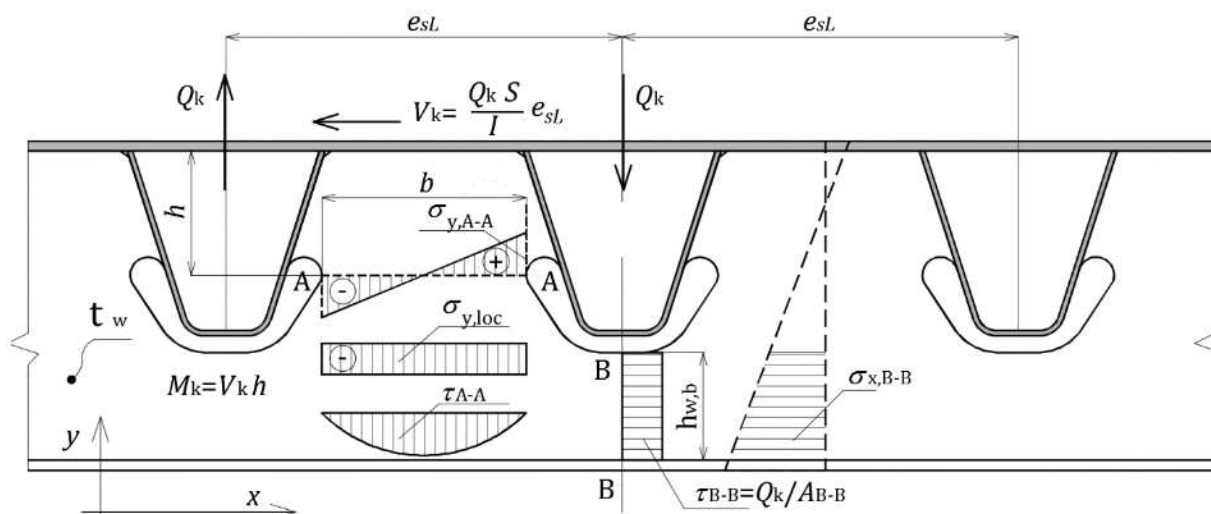


Рисунок М.11 – Схема розрахунку стінки поперечної балки

5. У разі наїзду колеса безпосередньо на стінку поперечної балки між ребрами, до знайдених напружень стискування σ_y потрібно додати напруження стискування від колеса $\sigma_{y,loc}$, що становлять:

$$\sigma_{y,loc} = F_{D,loc} / (b \cdot t_w),$$

де $F_{D,loc}$ – розрахунковий тиск колеса;

b – ширина перерізу А–А;

t_w – товщина стінки.

До розтягнутої частини епюри напруження стискування $\sigma_{y,loc}$ не додають.

6. У перерізі А–А визначають дотичні напруження τ_{A-A} .

7. У перерізі В–В визначають:

– нормальні напруження $\sigma_y = M_{cross,b} / W_{B-B}$; де $M_{cross,b}$ згинальний момент у перерізі

балки; W_{B-B} – момент опору в перерізі балки, брутто;

– дотичні напруження $\tau_{B-B} = Q_k / A_{B-B}$, де A_{B-B} площа стінки в перерізі В–В.

М.4.3.2 Перевірку міцності стінки поперечної балки, листа настилу і стінки поздовжнього ребра ортотропної плити виконують за формулою:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \leq 1,1 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_{M0}} \cdot m. \quad (M.5)$$

Одночасно перевіряють:

$$\tau_{A-A} \leq \frac{1,0}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_{M0}} \cdot m; \quad \sigma_{y,A-A} \leq 1,1 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_{M0}} \cdot m; \quad \sigma_{x,B-B} \leq 1,0 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_{M0}} \cdot m.$$

М.4.3.3 Якщо напруження розтягу від дії сили V_k становлять $\sigma_{y,A-A} \leq \frac{R_{yn}}{\gamma_{M0}}$,

допускається розрахунки витривалість для ділянок вирізів не виконувати.

М.5 Розрахунки плит під рух потягів

М.5.1 Визначення зусиль у плитах

М.5.1.1 Локальне зусилля тиску від навантаження СК становить 2,5К на вісь. Характеристичне навантаження на плиту для розмірів, наведених на рисунку М.12, допускається приймати таким, що дорівнює $9,33 \text{ т/м}^2$.

М.5.1.2 Зусилля у перерізах поздовжніх ребер і поперечних балок розраховують із використанням плитно-стрижневих схем, так само як у плитах під рух автомобілів.

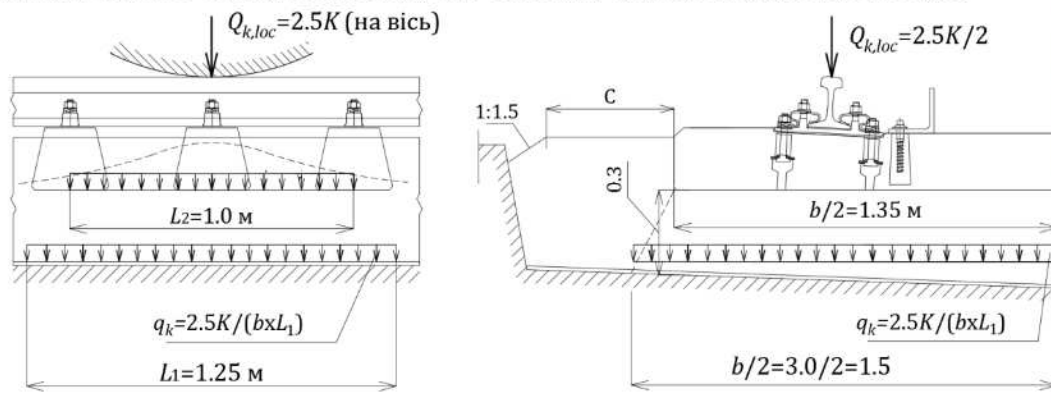


Рисунок М.12 – Розподіл тиску на плиту від осі з тиском 2,5К

М.5.1.3 У разі влаштування колії на баласті найбільші значення згинальних моментів у листі настилу над поздовжніми ребрами розраховують із використанням плитно-стрижневих схем. Допускається оцінювати значення згинальних моментів за формулами:

$$\text{на ділянці під рейкою } M_y = -0,1 \cdot v \cdot a^2, \quad (\text{М.6})$$

$$\text{на ділянці по осі прогонової будови } M_y = -0,08 \cdot v \cdot a^2, \quad (\text{М.7})$$

де a – відстань між поздовжніми ребрами;
 $v = 2 \cdot K \text{ т/м}$ – навантаження на одиницю довжини колії.

М.5.2 Розрахунки на міцність ортотропних плит

М.5.2.1 Розрахунки на міцність поздовжніх ребер і поперечних балок ортотропних плит під потяги залізниці виконують виходячи з пружної роботи для ділянок стискання і розтягу за формулою:

$$\sigma_x \leq R_{yn} \cdot m, \quad (\text{М.8})$$

де σ_x – сумарні напруження від дії локальних і глобальних навантажень;

R_{yn} – опір текучості; характеристичне значення;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1).

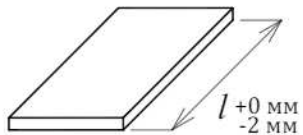
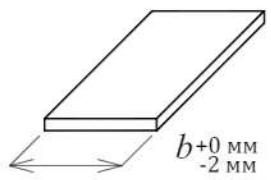
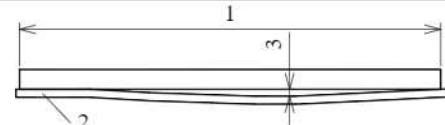
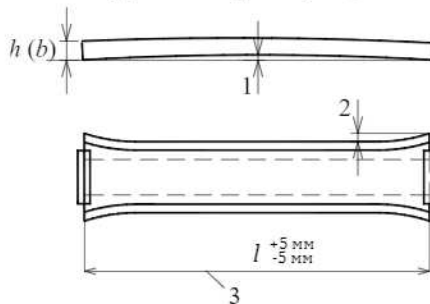
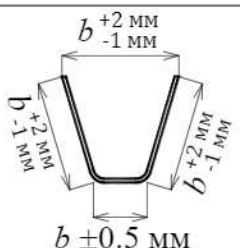
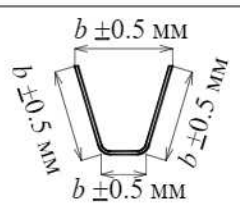
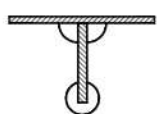
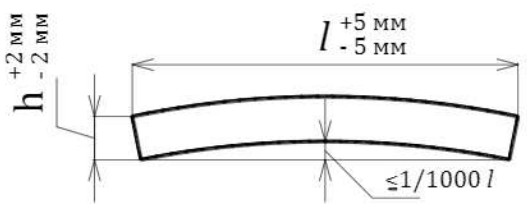
М.5.2.2 Розрахунки на міцність стінок поперечних балок виконують так само, як для плит під автопроїзд.

М.5.2.3 Перевірку міцності листа настилу плити для їзди потягів по баласту виконують за формулою:

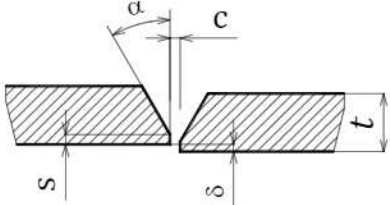
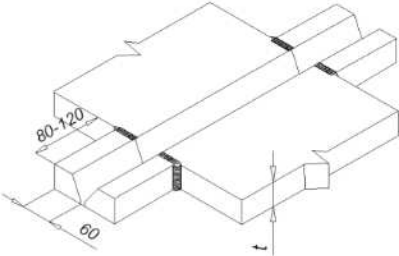
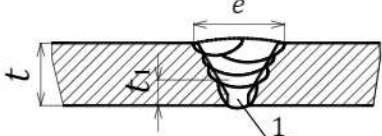
$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \leq 1,1 \cdot \frac{R_{yn}}{\gamma_{M0}} \cdot m. \quad (\text{М.9})$$

М.6 Особливості конструювання

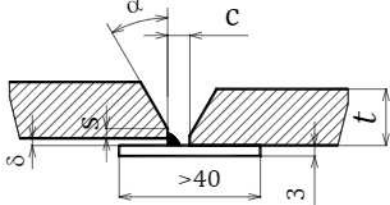
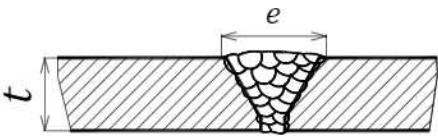
Таблиця М.10 – Допуски виробів

№	Довжина і переріз	Переріз	Прямолінійність	
Лист настилу після прокатки і правки на вальцях з урахуванням зварювальних деформацій				
1.1			 1. Лінійка 2000 мм. 2. Лист. 3. Зазор $\leq 2,0$ мм.	
Холодногнуте поздовжнє ребро $t \geq 6$ мм з радіусом згину $r/t \geq 4$. Тріщини контролюють візуально на кінцях ребер. Для ребер типу а) і б), якщо геометрія згину не відповідає проєкту, вирізи в поперечних балках мають компенсувати неточності				
1.2	а) гнутий профіль для проходу у вирізі стінки поперечної балки з вільним вирізом знизу		 Для випадків а) і б) Допуски: 1. Зазор $\leq //1000$ мм. 2. Розширення ≤ 1 мм. 3. У місці стиків ребер: – радіус загину ± 2 мм; – поворот 1^0 на довжині 4 м; – паралельність 2 мм.	
				
	б) гнутий профіль для проходу у вирізі стінки поперечної балки без вільного вирізу знизу			
				
Поздовжнє штабове ребро $t \geq 10$ мм, приварене до настилу двосторонніми швами				
1.3	Штабове ребро, приварене до вирізу з двох боків 			

Таблиця М.11 – Стиковий шов на знімній підкладці

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Стикові однобічні шви листів настилу ортотропних плит на знімній підкладці (скло-мідній або мідній зі склотканиною, керамічні), виконані автоматичним зварюванням під флюсом з ручною або механізованою підваркою кореня шва без подальшого оброблення			
2.1	 Параметри $t = 12 - 40$ мм; $\alpha = 30^\circ \pm 2^\circ$; $s = 1 \pm 1$; $c = 5 \pm 1$ мм; $\delta \leq 2$ мм	Контроль перед зварюванням: 1. Геометрія кромки. 2. Стан кромки (конденсат, пил, масло, корозія тощо). 3. Щільність установки підкладки	Форми кромки може бути змінено на основі спеціально розробленої специфікації
2.2		Контроль перед зварюванням: Те саме, що і для основної конструкції	Вивідні планки, форма яких відповідає формі кромки основної конструкції. Шви приварення планок виконують спочатку з боків, а потім зверху з перерізом від 2 мм до 4 мм
2.3	 1 – ручна або механізована підварка кореня шва; за умови $t = 12 - 40$ мм; $t_1 = 8-10$ мм.	Шов I категорії. Візуальний і УЗД контроль	Підкладка і режими відповідно до спеціально розробленої специфікації

Таблиця М.12 – Стикові шви листа настилу на залишковій підкладці

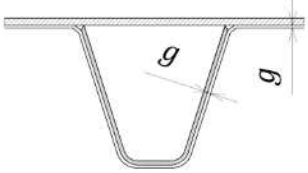
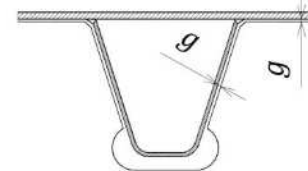
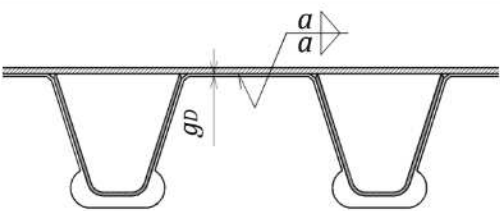
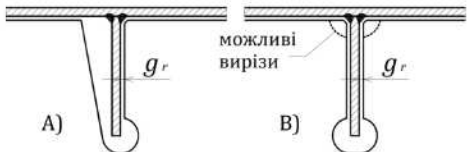
№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Стикові шви листа настилу на залишковій підкладці, виконані механізованим або ручним зварюванням			
3.1	 Параметри, що рекомендуються $t = 12 - 40$ мм; $\alpha = 30^\circ \pm 2^\circ$; $s = 1 \pm 1$; $c = 6 - 8$ мм; $\delta \leq 2$ мм.	Контроль перед зварюванням: 1. Геометрія кромки. 2. Стан кромки (конденсат, пил, масло, корозія тощо). 3. Щільність установки підкладки і якість кореневого шва	Зварювання використовують тільки у випадках, коли установка знімних підкладок неможлива. Порядок виконання має бути вказано в спеціально розробленій специфікації
3.2		Шов I категорії	

Таблиця М.13 – Шви замкнених поздовжніх ребер

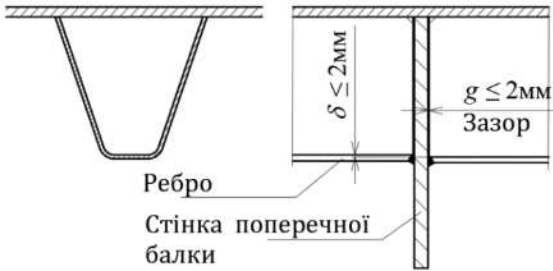
№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
Підготовка перед зварюванням			
4.1		Контроль перед зварюванням: 1 – кромка для заводського зварювання; 2 – кромка з обробленням для монтажнього зварювання; 3 – залишкова підкладка	Розміри вставки і розпусків може бути зменшено на 30 % для товщини ребра 6 мм
4.2		С.1 – стиковий шов вставки ребра; С.2 – кутові шви стінок; С.3 – кутові шви в стелю. Послідовність виконання показано цифрами 1, 2 і 3	
Стикові шви ребра на залишковій підкладці			
4.3		$t = 6 \text{ мм}$ $c \geq 7 \text{ мм}$ – під час механізованого зварювання; $c \geq 8 \text{ мм}$ під час ручного зварювання; $\delta \leq 2 \text{ мм}$	Допуск зварювальників до роботи можливий тільки після атестації на основі зварювання двох зразків. Рекомендовані матеріали: 1. Метало-порошковий дріт діаметром від 1,2 мм до 1,6 мм. 2. Покриті електроди з діаметром від 3 мм до 4 мм.
4.4		$t = 6 \text{ мм}$ $c \geq 7 \text{ мм}$ – під час механізованого зварювання; $c \geq 8 \text{ мм}$ під час ручного зварювання; $\alpha = 30^\circ$; $s = 1 \pm 1$; $\delta \leq 2 \text{ мм}$.	

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
4.5		Кількість проходів наведено для товщини ребра $t = 8$ мм	
Однобічний кутовий шов приварення стінки ребра до листа настилу			
4.6		100 % ВВК (тут і далі візуально-вимірний контроль) перед і після зварювання. Кромки I категорії. Контроль режимів на основі металографічних досліджень макрошліфів через кожні 500 м заводських швів. Переріз шва: $a \geq s$.	Заводські шви виконують у нижньому положенні автоматичним зварюванням під флюсом. Переріз шва: $a \geq s$.
4.7		Переріз шва: $a \geq s$.	Монтажні шви на ділянці стику виконано в напів-стелю. Переріз шва: $a \geq s$.
4.8			Тільки для пішохідних зон. Переріз шва: $a \geq s$.

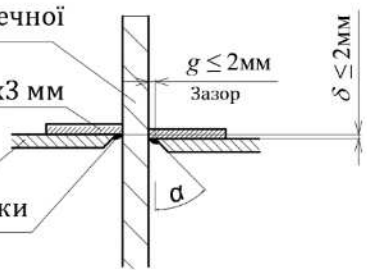
Таблиця М.14 – Кутові шви приварення стінки поперечної балки до ребра

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
5.1		100 % ВВК перед і після зварювання. Кромки I категорії. Зазор $g \leq 3$ мм	Переріз шва «а» визначають за розрахунком, для якого приймають:
5.2			за умови $g \leq 2$ мм $a = a_{nom}$;
5.3			за умови $g > 2$ мм $a = a_{nom} + (g - 2)$.
5.4		Для А $g_r \leq 2$ мм Для В $g_r \leq 1$ мм	Переріз шва «а» – за розрахунком. Без розрахунку – «а» приймають таким, що дорівнює половині товщини стінки поперечної балки А) – рекомендується для автомобільного проїзду. В) – рекомендується для руху потягів.

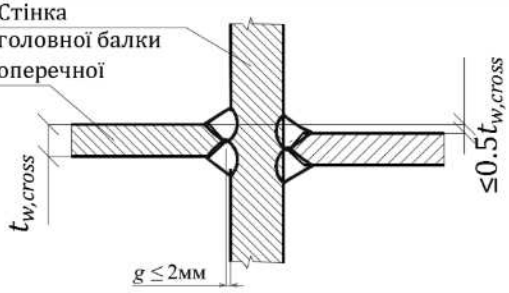
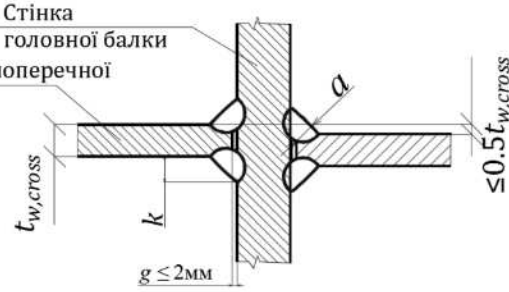
Таблиця М.15 – Стик ребра зі стінкою поперечної балки (без вирізу в стінці)

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
6.1	 Ребро Стінка поперечної балки Позначено: Зазор $g \leq 2$ мм. Неспівосність стінки ребра $\delta \leq 2$ мм	100 % ВВК перед і після зварювання. Переріз шва «а» не менше товщини ребра.	Однобічний шов з повним проплавленням без підкладок. Застосовують: 1. Для кінцевої поперечної балки, що примикає до деформаційного шва. 2. Для пішохідних мостів.

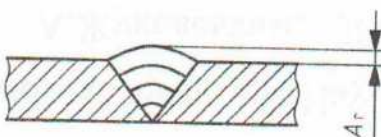
Кінець таблиці М.15

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
6.2	Стінка поперечної балки Підкладка 30х3 мм Ребро Шов приварки підкладки  Позначено: неспіввідношення стінки ребра $\delta \leq 2 \text{ мм}$		Однобічний шов з повним проплавленням на залишковій підкладці. Застосовують: 3. Для кінцевої поперечної балки, що примикає до деформаційного шва. 4. Для пішохідних мостів.

Таблиця М.16 – Стик поперечної балки з головною балкою

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
7.1	Стінка головної балки Стінка поперечної балки  $g \leq 2 \text{ мм}$ $\leq 0.5 t_{w,cross}$	100 % ВВК до і після зварювання. Контролюють зварювальні зазори і співвідношення стінок поперечних балок. Розміри і якість швів	Стики з повним проплавленням
7.2	Стінка головної балки Стінка поперечної балки  $g \leq 2 \text{ мм}$ $\leq 0.5 t_{w,cross}$ Незбіжність осей стінок не більше ніж половина товщини поперечної балки		Стики зі швами перерізу «а», що визначають розрахунком

Таблиця М.17 – Стикові шви листів настилу ортотропних плит

№	Деталь	Контрольовані параметри	Примітки
8.1	Виступ зварного шва над поверхнею ортотропного настилу  Основні функційні допуски не зазначено	Виступ A_r зварного шва відносно поверхні настилу	Дозволений відхил – $A_r = 0 \text{ мм}$ + $A_r = 1 \text{ мм}$

Додаток Н
(обов'язковий)
ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ

Н.1 Розрахунки швів

Н.1.1 Базовими показниками для розрахунків швів зварювання є характеристичні значення опору текучості й тимчасового опору металу шва $R_{w,yn}$ і $R_{w,un}$ ¹. Ці значення наведено в стандартах і у сертифікатах виробника зварювальних матеріалів. Для основних типів стандартизованих зварювальних матеріалів механічні властивості наплавленого металу наведено в таблицях додатка Б.

Н.1.2 Розрахункові значення опорів зварних з'єднань знаходять відповідно до таблиці Н.1.

Н.1.3 Коефіцієнт надійності для розрахунків зварних з'єднань $\gamma_{M2} = 1,25$ приймають відповідно до таблиці 7.3.

Н.1.4 Коефіцієнт надійності для стикових і кутових швів на границі сплавлення приймають як для основного металу γ_{M0} відповідно до таблиці 7.3.

Таблиця Н.1 – Розрахункові значення опорів зварних з'єднань

Зварні з'єднання	Напружений стан		Розрахункові опори зварних з'єднань	№№ формул
Стикові	Стиск, розтяг і згин (приймають як для основного металу)	за границею текучості	$R_{w,y} = R_{yn} / \gamma_{M0}$	(Н.1)
		за тимчасовим опором	$R_{w,u} = R_{un} / \gamma_{M0}$	(Н.2)
		зріз	$R_{w,s} = 0,58 \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}$	(Н.3)
Кутові шви	Зріз (умовний) по металу шва		$R_{w,f} = 0,55 \cdot R_{un} / \gamma_{M2}$	(Н.4)
	Зріз (умовний) по металу границі сплавлення		$R_{w,z} = 0,45 \cdot R_{un} / \gamma_{M0}$	(Н.5)

Н.1.5 Міцність металу шва приймають так, щоб розрахунковий опір зрізу по металу шва і по границі сплавлення перевищував розрахунковий опір зрізу основного металу і були виконано умови:

$$R_{w,f} \geq 0,58 \cdot R_{yn} / \gamma_{M0}, \quad (\text{Н.6})$$

$$R_{w,z} \geq 0,58 \cdot R_{un} / \gamma_{M0}. \quad (\text{Н.7})$$

Загалом такі показники як напруження текучості, тимчасового опору, відносного подовження за розриву та мінімальне значення ударної міцності металу шва має довінювати або бути кращим за показники основного металу. Твердість металу швів обмежено 350 одиницями за шкалою Віккерса (HV). Для кутових швів із катетом від 5 мм до 7 мм твердість допускається 400 одиниць.

Н.1.6 Розрахункову висоту перерізу стикових зварних швів необхідно приймати такою, що дорівнює (рисунок Н.1):

– деталей із повним проплавленням,

$$t_w = t_{\min}, \quad (\text{Н.8})$$

– деталей із неповним проплавленням,

$$t_w = t_{w,\min}. \quad (\text{Н.9})$$

де $t_{\min}$ – найменша з товщин деталей, які зварюють;

¹ Індекс w в позначках опорів характеризує відношення до зварного з'єднання

$t_{w,min}$ – найменша товщина перерізу стикового шва під час зварювання деталей з неповним проплавленням;

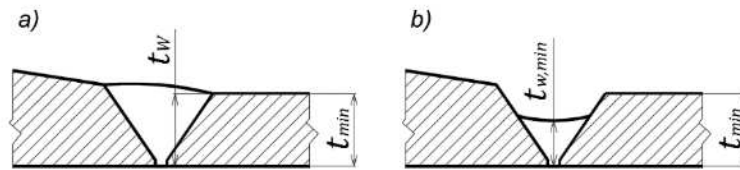


Рисунок Н.1 – Перерізи стикових швів

Н.1.7 Геометричні параметри кутових швів залежать від типу зварювання, положення в якому виконують зварювання, режимів зварювання тощо. Тільки в тому випадку, коли є можливість виміряти переріз швів на мікрошліфах і технологічні режими зварювання гарантовано незмінні, тоді допускається приймати фізично виміряні розміри швів із урахуванням проплавлення для виконання розрахунків (згідно з рисунком Н.2).

Розрахункові значення перерізів швів приймають таким, що дорівнюють:

0–1 – по металу шва – мінімальний переріз шва a_f ;

0–2 або 0–3 – по границі сплавлення з базовим металом a_z .

з урахуванням проплавлення і форми шва

без урахування проплавлення і форми шва

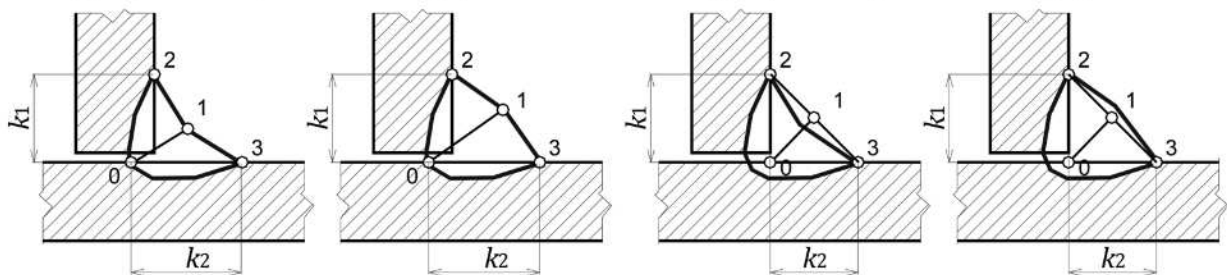


Рисунок Н.2 – Характерні розміри кутових швів

У всіх інших випадках перерізи швів розраховують за формулами:

– по металу шва:

$$a_f = \beta_f \cdot k_f, \quad (\text{Н.10})$$

– по металу границі сплавлення:

$$a_z = \beta_z \cdot k_f, \quad (\text{Н.11})$$

де β_f і β_z – коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів, за таблицею Н.2;

k_f – найменший з катетів кутового шва.

Таблиця Н.2 – Коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів

Положення шва під час зварювання	Коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів a_f і a_z				
	Позначення	катети швів k_f , мм			
		3–8	9–12	14–17	≥ 18
Автоматичне зварювання під флюсом дротом діаметром від 3 мм до 5 мм					
в човник	β_f	1,1		0,7	
	β_z	1,15		1,0	
нижнє	β_f	1,1	0,9		0,7

	β_z	1,15	1,05	1,0
Автоматичне та механізоване зварювання дротом діаметром від 1,4 мм до 2 мм				
в човник	β_f	0,9	0,8	0,7
	β_z	1,05	1,0	
нижнє	β_f	0,9	0,8	0,7
	β_z	1,05	1,0	1,0
Ручне та механізоване зварювання дротом суцільного перерізу, дротом діаметром менше ніж 1,4 мм або порошковим дротом				
усі положення	β_f	0,7		
	β_z	1,0		

Допускається без розрахунків призначати розміри кутових швів (рисунок Н.3), рівноміцних повному проплавленню для Т-подібного з'єднання, за умови виконання умови: $a_1 + a_2 \geq t$. Розмір притуплення c має дорівнювати меншій з двох величин: 3 мм або $t/3$.

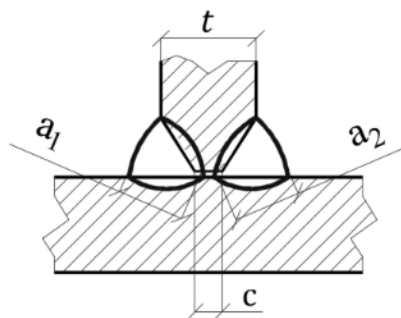


Рисунок Н.3 – Шви Т-подібного з'єднання рівноміцного повному проплавленню

Н.1.8 Розрахункові розміри кутових швів a_f , виконаних під гострими і тупими кутами, приймають згідно з рисунком Н.4.

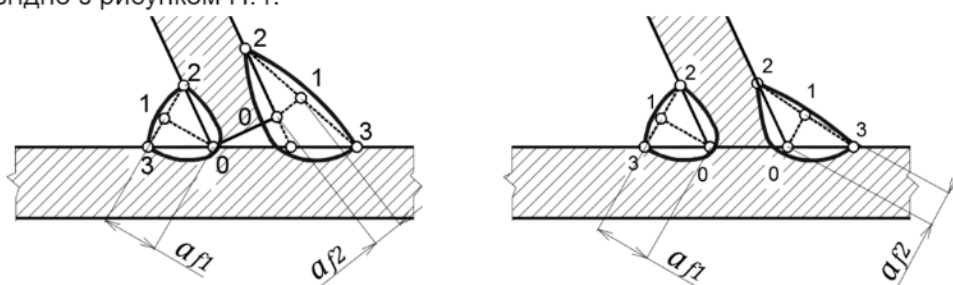


Рисунок Н.4 – Характерні перерізи кутових швів для з'єднань, виконаних під гострими і тупими кутами: ліворуч – кромка перпендикулярна; праворуч – кромка під кутом

Н.1.9 Розрахунок на міцність зварних стикових з'єднань виконують:

– у разі зварювання деталей зі сталей різного класу міцності, а також під час зварювання матеріалами, для яких $R_{w,y} \leq R_y$ (у цих випадках $R_{w,y}$ має бути зазначено в проєкті);

– за наявності викружок або ослаблень на ділянці стику, якщо

$$l_w \leq b, \text{ або } l_{w,\min} \leq t, \text{ або } A_{w,n} \leq A,$$

де l_w – повна довжина стикового шва;

b і t – ширина та товщина з'єднуваних деталей;

$A_{w,n}$ і A – площа нетто ослабленого (наприклад, отворами) перерізу стикового шва і площа брутто (або нетто) перерізу з'єднаних деталей на ділянці стику, відповідно.

Н.1.10 Розрахунок на міцність зварних стикових з'єднань виконують за формулами:

$$\sigma_w \leq R_{w,y} \cdot m, \quad (\text{Н.12})$$

$$\tau_w \leq R_{w,s} \cdot m, \quad (\text{Н.13})$$

де σ_w і τ_w – нормальні і дотичні напруження в будь-якій точці зварного шва, відповідно;

$R_{w,y}$ і $R_{w,s}$ – розрахункові опори зварного шва текучості та зрізу, відповідно. Значення приймають за таблицею Н.1.

Н.1.11 Стикові шви зварювання стінок та інших елементів, що зазнають впливу нормальних напружень у двох площинах та зрізу, виконують як для основного металу за формулою (7.1) приймаючи $R_{w,yn} = R_{yn}$.

Н.1.12 Міцність кутових швів зварювання рекомендується оцінювати за формулою:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \beta_f \cdot \frac{m \cdot R_{w,un}}{\gamma_{M2}}, \quad (\text{Н.14})$$

де β_f – коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів, за таблицею Н.2;

$R_{w,un}$ – номінальне значення тимчасового опору металу шва;

γ_{M2} – коефіцієнт надійності за матеріалом шва 1,25 (таблиця 7.3).

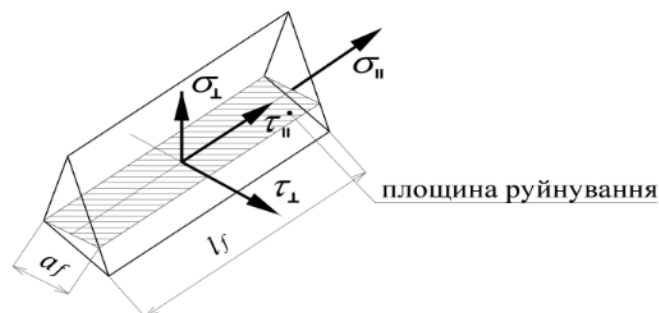


Рисунок Н.5 – Напруження в перерізі кутового шва завширшки a_f і завдовжки l_f

На рисунку Н.5 наведено дотичні і нормальні напруження, що діють у перерізі кутового шва:

$\tau_{\perp}$ – дотичні напруження у площині перерізу шва перпендикулярно до напрямку шва;

$\tau_{\parallel}$ – дотичні напруження у площині перерізу шва вздовж напрямку шва;

$\sigma_{\perp}$ – нормальні напруження, перпендикулярні до площини руйнування.

Нормальні напруження $\sigma_{\parallel}$, що спричинюють стиск-розтяг шва в напрямку вздовж шва загалом, не враховують у розрахунках.

Н.1.13 Міцність кутових швів допускають перевіряти за спрощеною процедурою без урахування складової від нормального напруження $\sigma_{\perp}$, на умовний зріз за двома перерізами (рисунки Н.2):

1) переріз металу шва 0–1:

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_p^2} \leq m \cdot R_{w,f}; \quad (\text{Н.15})$$

2) переріз у місці сплавлення з основним металом 0–2 або 0–3:

$$\sqrt{\tau_{z,\perp}^2 + \tau_{z,p}^2} \leq m \cdot R_{w,z}, \quad (\text{Н.16})$$

де $\tau_{z,\perp}$ і $\tau_{z,p}$ – дотичні напруження у площині перерізу шва перпендикулярно до напрямку шва і вздовж шва в місці сплавлення з основним металом.

Н.2 Розрахунки швів складених елементів

Н.2.1 Зварні шви, що з'єднують окремі листові деталі перерізу складених суцільностінчастих стиснутих елементів, розраховують на фіктивну поперечну силу Q_{fic} , прийняту постійною по всій довжині елемента й визначають за формулою:

$$Q_{fic} = \frac{\pi \cdot W}{l} \cdot (R_{ym} - \varphi \cdot R_y), \quad (\text{Н.17})$$

де W – момент опору перерізу елемента бруто в площині, яку перевіряють, (ослаблення листових деталей перфорацією допускають не враховувати);

l – довжина складеного елемента;

φ – коефіцієнт поздовжнього згину для розрахунку стійкості елемента в площині, яку перевіряють.

Зварні шви в стиснуто-зігнутих складених елементах розраховують на поперечну силу Q_1 , що дорівнює сумі поперечних сил – умовної Q_{fic} , визначуваної за формулою (Н.17), і фактичної.

Якщо в перерізі складеного елемента є дві і більше паралельно розташовані листові деталі, то прикріплення кожної з них розраховують на поперечну силу Q_i , що визначають за формулою:

$$Q_i = Q_1 \cdot t_i / \sum_1^n t_i, \quad (\text{Н.18})$$

де t_i – товщина листової деталі, що кріплять;

n – кількість паралельно розташованих листових деталей.

Н.2.2 У разі прикріплення до вузлів головних ферм складених суцільностінчастих елементів, окремі частини перерізу яких безпосередньо не прикріплено до вузлових фасонки, зварні шви приєднання неприкріпленої частини перерізу до прикріпленої розраховують на передавання зусилля, що припадає на неї, приймаючи такі значення коефіцієнтів умов роботи m :

$m = 0,8$ – у разі відношення площі прикріпленої частини перерізу A_v до всієї площі перерізу елемента A_v/A меншого ніж 0,6;

$m = 0,9$ – для відношення A_v/A понад 0,6 і до 0,8;

$m = 1,0$ – для відношення A_v/A понад 0,8.

Розрахункова довжина зварного шва дорівнює довжині перекриття елемента вузловою фасонкою ферми.

Геометричні параметри зварних швів залежать від різновиду зварювання, положення в якому виконують зварювання та режимів зварювання. Якщо під час проєктування конструкції є можливість виміряти переріз швів на зразках і технологічні режими зварювання відпрацьовані, тоді можна приймати для розрахунків фактичні розміри швів з урахуванням проплавлення.

Додаток П
(довідковий)
ДЕФОРМАЦІЙНІ ШВИ

П.1 Строк експлуатації деформаційного шва

Строк експлуатації деформаційного шва залежить від багатьох чинників, основними з яких є:

- якість проектування і виготовлення конструкції шва (із урахуванням величини навантажень і кількості циклів навантажень);
- якість установки (монтажу);
- якість експлуатації (заміна деталей і обслуговування).

Виготовлення шва є тільки одним з чинників, що визначає можливість безремонтної експлуатації шва. У разі інтенсивності, що дорівнює 500 000 машин на рік, довговічність швів розподілено на чотири категорії (таблиця П.1).

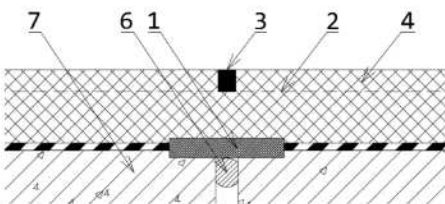
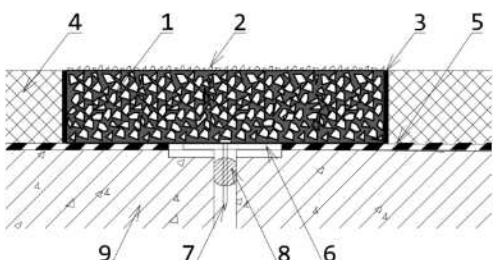
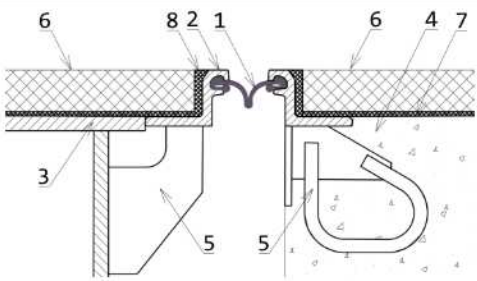
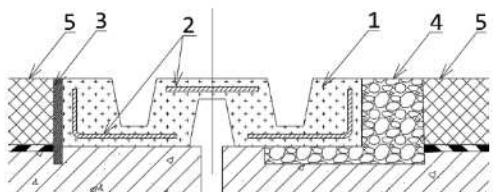
Таблиця П.1 – Довговічність швів для інтенсивності 500 000 машин на рік

Категорія строку експлуатації	Кількість років
1	10
2	15
3	25
4	50

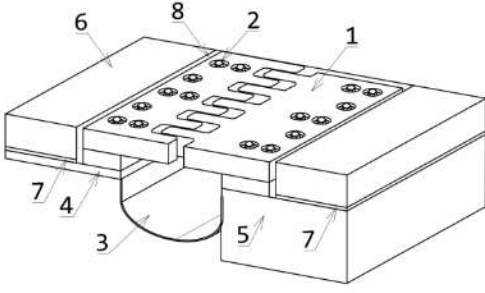
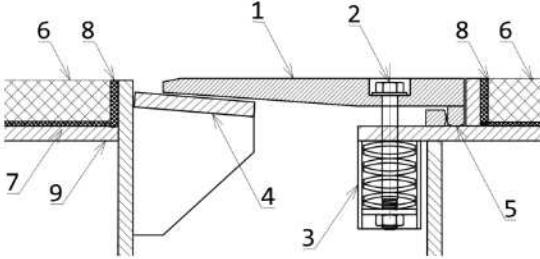
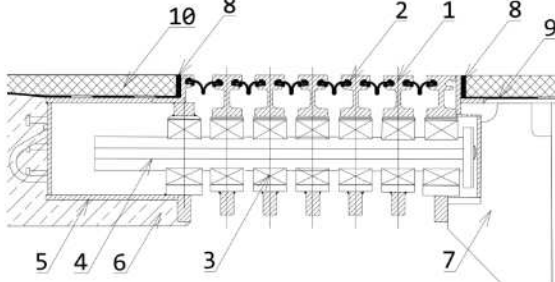
П.2 Типи і використання деформаційних швів**П.2.1 Типи і використання деформаційних швів**

Для сталевих прогонових будов сталевих мостів потрібно використовувати деформаційні шви з номерами 4, 5 або 7 відповідно до таблиці П.2. Деформаційні шви інших типів можна використовувати лише за умови спеціальних обґрунтувань.

Таблиця П.2 – Типи деформаційних швів

Ч.ч.	Схема шва	Типи деформаційних швів
Частина 2	 1 – герметик або мембрана; 2 – армування на поверхні; 3 – герметик на поверхні; 4 – поверхневий шар; 5 – гідроізоляція плити; 6 – конопачення	<i>Перекритий деформаційний шов</i> Переміщення до 15 мм. Шов з еластичною мембраною, яка деформується і перекривається матеріалом покриття. Строк експлуатації 10 років
Частина 3	 1 – пружний матеріал; 2 – поверхнєве оброблення; 3 – шов з герметиком; 4 – покриття; 5 – гідроізоляція плити; 6 – плита перекриття; 7 – фіксатор; 8 – конопачення; 9 – плита мосту	<i>Еластомерно-бітумний деформаційний шов</i> Переміщення до 25 мм. Шов влаштовують на місці з бітумного матеріалу із заповненням. Матеріал має велику розтяжність і обпирається на металеві елементи для перекриття зазору. Строк експлуатації 10 років
Частина 4	 1 – еластомерний профіль; 2 – носовий профіль; 3 – лист плити; 4 – бетон плити; 5 – елементи анкерення; 6 – покриття; 7 – гідроізоляція; 8 – перехідний шов	<i>Стрічковий деформаційний шов</i> Призначений для компенсації переміщень до 80 мм. Шов має підготовані кромки з обох боків, і використовує деформаційні якості армованого пружного матеріалу, який закріплюють до країв прогонової будови. Типи закріплень еластомеру і типи носових профілів можуть різнитися. Строк експлуатації до 50 років
Частина 5	 1 – пружний матеріал; 2 – арматура; 3 – шов з герметиком; 4 – полімерна заливка; 5 – покриття мосту	<i>Матовий деформаційний шов</i> Призначений для компенсації переміщень до 50 мм. Шов має підготовані кромки з обох боків, зазор між якими заповнюють пружним армованим матом у рівень з поверхнею. Строк експлуатації 10 років

Кінець таблиці П.2

Ч.ч.	Схема шва	Типи деформаційних швів
Частина 6	 1 – гребінка; 2 – болти закріплення; 3 – лоток водовідводу; 4 – лист настилу; 5 – бетон плити; 6 – покриття; 7 – гідроізоляція; 8 – перехідний шов	<i>Консольний деформаційний шов</i> Гребінчасті та інші шви, що жорстко закріплюють з обох боків від шва і витримують навантаження за схемою консолі. Строк експлуатації до 50 років
Частина 7	 1 – лист перекриття; 2 – болти закріплення; 3 – стакан з пружиною; 4 – опорний лист; 5 – шарнірна опора; 6 – покриття; 7 – гідроізоляція; 8 – перехідний шов; 9 – лист настилу плити	<i>Деформаційний шов з листом перекриття</i> Шви, що перекривають елементом, який шарнірно обпертий з одного боку і ковзає з іншого. Строк експлуатації до 15 років
Частина 8	 1 – рейка модуля; 2 – еластомерний профіль; 3 – елемент ковзання; 4 – траверса; 5 – короб траверси; 6 – бетон плити(опори); 7 – сталева конструкція; 8 – перехідний шов; 9 – гідроізоляція; 10 – покриття.	<i>Модульний деформаційний шов</i> Деформаційні шви, що складаються з окремих балок (модулів), розміщених вздовж шва і обпертих на балки, орієнтовані переважно поперек шва. Модулі об'єднано між собою елементами з пружного матеріалу для герметизації шва. Строк експлуатації до 50 років

П.3 Розрахунок деформаційних швів і елементів кріплення

П.3.1 Характеристичне значення вертикальної сили на шов $Q_{v,k}$ у межах проїзду від дії коліс тандемів приймають у вигляді відбитків коліс осі, як наведено на рисунку П.1.

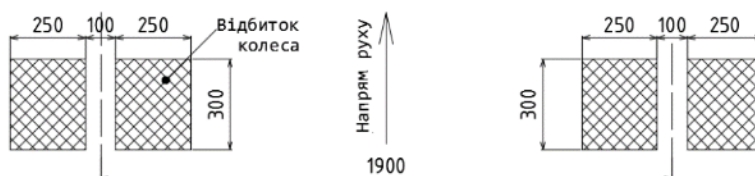


Рисунок П.1 – Відбитки коліс тандему

Сили від дії тандему АК приймають у вигляді навантаження на вісь тандему на першій смугі $Q_{v,k}$:

$$Q_{v,k} = Q_{v,1} \quad (\text{П.1})$$

П.3.2 Характеристичне значення горизонтальної сили вздовж мосту на шов у межах проїзду коліс тандемів від дії сили тяги/гальмування приймають у вигляді ваги однієї осі $Q_{v,1}$ з понижувальним коефіцієнтом $b_k = 0,4$:

$$Q_{t,k} = 0,4 \cdot Q_{v,1} \quad (\text{П.2})$$

Примітка 1. Допускається враховувати другий тандем.

Примітка 2. Силу може бути прикладено одним колесом або його частиною.

Примітка 3. Сили гальмування, відхилені від прямолінійного напрямку, не враховують.

П.3.3 Характеристичне значення горизонтальної відцентрової сили поперек мосту на шов у межах проїзду приймають у вигляді сили Q_{tk} , яка дорівнює силі від суми ваги осей тандемів, які розміщені на шві, помноженій на зменшувальний коефіцієнт 0,2:

$$Q_{tk} = 0,2 \cdot (Q_{v,1} + Q_{v,2} + Q_{v,3}) \quad (\text{П.3})$$

П.3.4 Горизонтальні сили від тяги/гальмування і відцентрової сили одночасно не розглядають.

П.3.5 Вертикальні зусилля на шов на ділянці тротуару приймають у вигляді характеристичної сили 3,5 т на відбитку 200×200 мм.

П.3.6 Характеристичне значення аварійного навантаження у разі виїзду автомобіля на тротуар приймають від колеса з відбитком, наведеним на рисунку П.2, із тиском на вісь $Q_{t,A} = 10$ т.

П.3.7 Наїзд на шов на ділянці бордюру моделюють двома силами. Характеристичне значення горизонтальної сили в поперечному напрямку на бордюр дорівнює $F_h = 10$ т на площу 200×500 мм; вертикальної сили $F_v = 5$ т на верх бордюру на площу 100×500 мм.

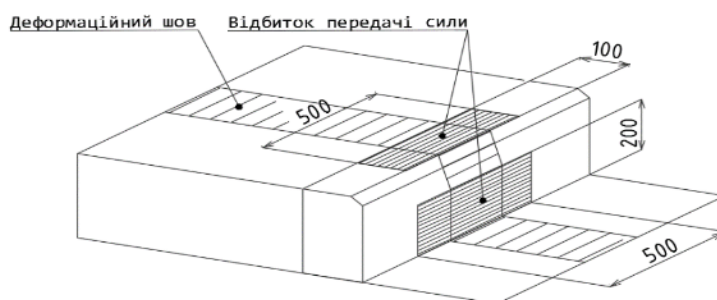


Рисунок П.2 – Вплив аварійного навантаження колеса на бордюр

П.3.8 Розрахункові комбінації для розкритого і закритого шва приймають відповідно до рядка 1 таблиці П.1.

П.3.9 Коефіцієнти надійності і динамічні коефіцієнти до навантажень приймають відповідно до ДБН В.1.2-15.

П.3.10 Зусилля, що передаються на опори, від сил тертя і від опору пружних матеріалів у деформаційних швах враховують як навантаження, що діють одночасно з силами тертя в опорних частинах.

Характеристичну силу, що діє на кожний лінійний метр модульного шва від його переміщень, враховують за формулою:

$$\text{горизонтальна } F_{h,ej} = (3,5 \cdot n) / l, \text{ кН/м}, \quad (\text{П.4})$$

$$\text{вертикальна } F_{v,ej} = 2,0 \cdot (n - 1) / l, \text{ кН/м}, \quad (\text{П.5})$$

де n – кількість модулів;

l – відстань між траверсними балками.

П.4 Проектування деформаційного шва

П.4.1 Особливості проектування й експлуатації деформаційного шва якщо порівняти з плитою проїзду мосту такі:

– елементи шва мають вільно переміщуватися від температурних і транспортних навантажень;

– елементи шва піддано збільшеним динамічним впливам від коліс машин;

– шов є місцем, де збирається бруд і волога.

Такі особливості вимагають вирішення технічних проблем:

– зробити механізм переміщення шва безвідмовним, і таким, що не залежить від технічного стану шва;

– зробити плавний проїзд автомобіля через шов (без поштовхів) за рахунок точності його установа; точкові відхилення між триметровою лінійкою, покладеною поперек шва на поверхню проїзду, не мають перевищувати ± 5 мм;

– збільшити динамічний коефіцієнт для розрахунків деталей шва й елементів його прикріплення, якщо порівняти з плитою мосту; оцінити витривалість елементів шва й його прикріплення до балки мосту;

– створити повну герметичність деформаційного шва;

– для суміщених під рейковий і автомобільний транспорт мостів потрібно застосовувати шви зі зменшеним рівнем шуму під час проїзду транспорту.

П.4.2 Довговічність деформаційного шва до повної заміни приймають відповідно до категорії (таблиці П.1).

П.4.3 Перелік параметрів, які надають на комплектах креслень проєкту, щодо деформаційних швів:

– геометричні параметри плити в рівні поверхні автомобільного проїзду і тротуарів, у місці розташування деформаційного шва: перерізи по фасаду мосту; переріз поперек мосту; план;

– креслення елементів прикріплення деформаційного шва до прогонової будови або опори мосту: в разі приєднання до сталевих конструкцій, розробити комплект креслень КМ, з перерізами швів зварювання елементів кріплення; в разі приєднання до залізобетонної конструкції – комплект креслень КЗ (Конструкції Залізобетонні);

– дані про горизонтальні та кутові переміщення деформаційного шва від монтажних, температурних, сейсмічних та інших навантажень;

– таблиця зазорів у шві, залежно від температури прогонової будови, а також настанова, щодо виставлення зазорів у шві, під час фіксації його сторін до прогонових будов або до прогонової будови й опори;

– зусилля, що виникають в елементах фіксації шва від температурних переміщень на стадії монтажних операцій; якщо виробник шва не надав відповідні значення зусиль, то потрібно примати 0,5 т на лінійний метр шва;

– дані про конструкцію примикання покриття проїзду і тротуарів до елементів шва, гідроізоляцію контуру шва і дренаж у комплекті ПЧ (проїзна частина).

Додаток Р
(обов'язковий)

ОСНОВНІ ТИПИ МОСТОВИХ ОПОРНИХ ЧАСТИН

Р.1 Типи опорних частин

ОЧ розрізняють:

- за призначенням: напрямні, всебічно рухомі, нерухомі, обмежувальні, опорні частини, що передають дію моменту як основну функцію, ті, що сприймають відрив, опорні частини розвідних мостів, залізобетонні шарніри, сейсмічні пристрої тощо;
- за конструкцією: пружні, коткові, балансирні, стаканні і сферичні, а також напрямні й обмежувальні ОЧ.

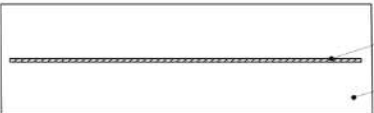
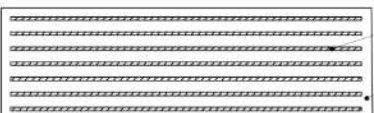
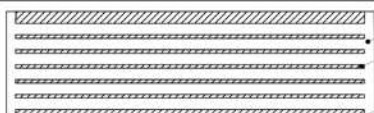
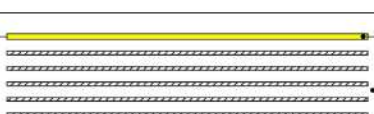
Найчастіше застосовують армовані, стаканні (різновид еластомерних опорних частин), сферичні і коткові опорні частини. Для опорних частин, що працюють на розтяг, поглинають сейсмічні впливи тощо, можна застосовувати інші типи опорних частин.

Р.1.1 Еластомерні армовані опорні частини

Еластомерні армовані опорні частини є різновидом пружних опорних частин. Проектують еластомерні опорні частини згідно з [ДСТУ EN 1337-3](#).

У таблиці Р.1 наведено армовані опорні частини А–D (див. таблицю 2 [ДСТУ EN 1337-3](#)), які є найбільш поширеними типами ЕАОЧ.

Таблиця Р.1 – Опис конструкції опорних частин

Типи	Вигляд перерізу	Опис конструкції опорної частини
A		Містить один сталевий лист і рівні по товщині шари еластомеру
B		Містить більше одного сталевого листа і зовнішніх шарів еластомеру
C		Містить більше одного сталевого листа і зовнішні сталеві плити для анкерення, завулканізовані в еластомер
D		Те саме, що тип B, але з верхнім листом ковзання товщиною 15 мм завулканізованим в еластомер

Р.1.2 Коткові опорні частини

Правила проектування коткових опорних частин наведено в [ДСТУ EN 1337-4](#). Горизонтальні переміщення опорних частин, наведених на рисунку Р.1, реалізуються за рахунок перекочування циліндричної поверхні по горизонтальній площині балансирів. Кут повороту для однокоткових опорних частин реалізується автоматично, а у разі розміщення двох або більше котків для реалізації кута повороту потрібен балансирний пристрій.

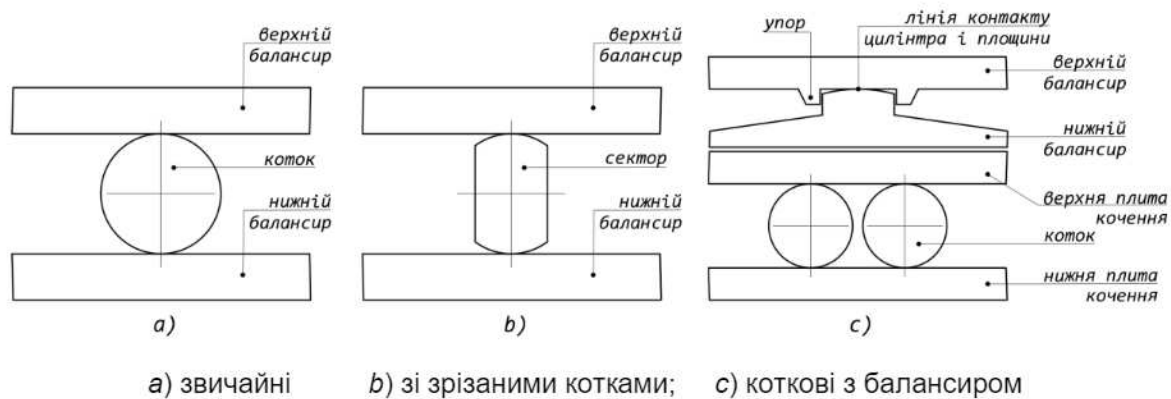


Рисунок Р.1 – Коткові опорні частини

Р.1.3 Правила проектування балансирних (тангенціальних) опорних частин і балансирного пристрою коткових опорних частин відповідно до [ДСТУ Б EN 1337-6](#).

Р.1.4 Правила проектування стаканних опорних частин відповідно до [ДСТУ EN 1337-5](#). Схему опорних частин наведено на рисунку Р.2.

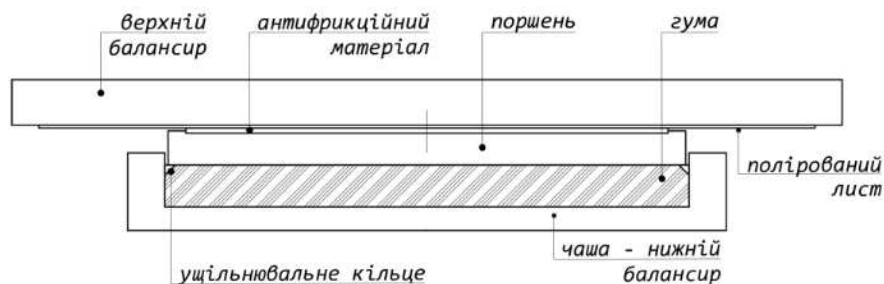


Рисунок Р.2 – Стаканна опорна частина

Р.1.5 Правила проектування сферичних опорних частин з ПТФЕ наведено в [ДСТУ EN 1337-7](#). Схему опорної частини наведено на рисунку Р.3.

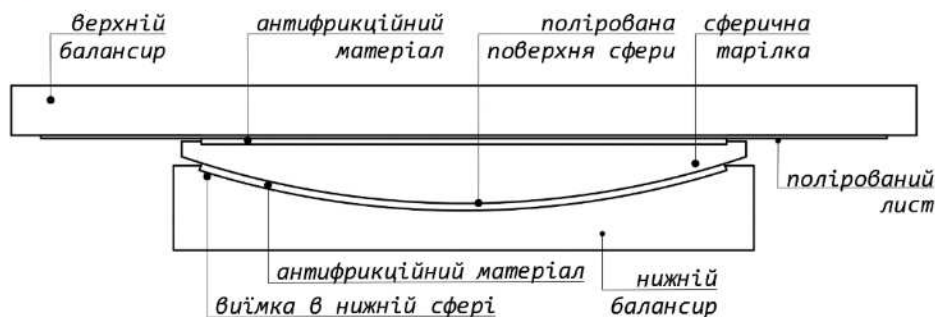


Рисунок Р.3 – Сферична опорна частина

Р.2 Коефіцієнти тертя для ковзних опорних частин

Р.2.1 Значення коефіцієнтів тертя залежать від антифрикційного матеріалу, чистоти поверхні полірованого листа, ступеня зношеності антифрикційного матеріалу, температури тощо.

Р.2.2 Під час проектування потрібно враховувати:

- температуру ОЧ (приймають температуру найбільш холодної п'ятиденки);
- тиск на антифрикційний матеріал (приймають тиск від характеристичних постійних навантажень).

Р.2.3 Значення максимального коефіцієнта тертя для змащених листів ПТФЕ з мастильними карманами для ковзання на полірованій аустенітній сталі потрібно обчислювати за формулами:

$$\mu_{\max} = 0,8 / (10 + \sigma_p) - \text{для температур понад мінус } 5^\circ\text{C}, \quad (\text{P.1})$$

$$\mu_{\max} = 1,2 / (10 + \sigma_p) - \text{для температур} \\ \text{від мінус } 5^\circ\text{C до мінус } 35^\circ\text{C}, \quad (\text{P.2})$$

де σ_p – тиск на антифрикційний матеріал, МПа.

P.2.4 Значення максимального коефіцієнта тертя для змащених листів MSM із мастильними карманами для ковзання на полірованій аустенітній сталі приймають за формулами:

$$\mu_{\max} = 1,2 / (15 + \sigma_p) - \text{для температур вище мінус } 5^\circ\text{C}, \quad (\text{P.3})$$

$$\mu_{\max} = 1,6 / (15 + \sigma_p) - \text{для температур} \\ \text{від мінус } 5^\circ\text{C до мінус } 35^\circ\text{C}, \quad (\text{P.4})$$

$$\mu_{\max} = 2,8 / (30 + \sigma_p) - \text{для температур} \\ \text{від мінус } 35^\circ\text{C до мінус } 50^\circ\text{C}, \quad (\text{P.5})$$

де σ_p – тиск на антифрикційний матеріал, МПа.

P.2.5 Для сталевих автомобільних мостів допускається приймати рівень навантаження від ваги прогонових будов як частку від максимального розрахункового рівня у межах від 34 % до 45 %. Для прогонових будов залізничних мостів тиск σ_p розраховують.

P.3 Коефіцієнти тертя для коткових і балансирних опорних частин

P.3.1 Значення максимального коефіцієнта тертя $\mu_{\max}$ для різних типів опорних частин наведено у відповідних частинах стандарту [ДСТУ EN 1337](#). Розрахункові значення максимальних коефіцієнтів тертя для найбільш поширених типів мостових опорних частин:

для коткових опорних частин – $\mu_{\max} = 0,05$;

для сферичних та циліндричних опорних частин – $\mu_{\max} = 0,02$;

для балансирних (тангенціальних) – $\mu_{\max} = 0,40$.

За умови належної експлуатації (запобігання зношеності, корозії та накопиченню сміття) для коткових опорних частин зі сталі з твердістю більше ніж 300 HV значення розрахункового коефіцієнта тертя допускається знижувати до $\mu_{\max} = 0,02$.

P.3.2 Оцінювання величини коефіцієнтів тертя для групи ОЧ

P.3.2.1 До однієї групи ОЧ належать опорні частини, що мають однакову конструкцію, матеріали та напрямки переміщень.

P.3.2.2 Якщо ОЧ встановлено так, що сили тертя в одних опорних частинах частково компенсовано силами тертя в інших ОЧ, то коефіцієнти тертя потрібно приймають: μ_a – для основної дії; μ_r – для компенсуючої дії:

$$\mu_a = 0,5 \cdot \mu_{\max} \cdot (1 + \alpha), \quad (\text{P.6})$$

$$\mu_r = 0,5 \cdot \mu_{\max} \cdot (1 - \alpha), \quad (\text{P.7})$$

де μ_a – коефіцієнт тертя для несприятливих дій;

μ_r – коефіцієнт тертя для сприятливих дій;

$\mu_{\max}$ – максимальний коефіцієнт тертя;

α – коефіцієнт, що залежить від типу опорної частини і кількості опорних частин, в яких виявляють відповідно зусилля основної дії або зусилля компенсуючої дії.

Коефіцієнт α приймають:

- для опорних частин ковзання згідно з таблицею Р.2;
- для сферичних та циліндричних опорних частин згідно з таблицею Р.3;
- для армованих опорних частин потрібно приймати $\mu_a = \mu_r = \mu_{\max}$, крім того, всі опорні частини споруди виготовляють з еластомеру однієї марки.

Таблиця Р.2 – Коефіцієнт α для опорних частин ковзання

Кількість ОЧ у групі, n	Коефіцієнт, α
≤ 4	1
$4 < n < 10$	$\alpha = (16 - n)/12$
≥ 10	0,5

Таблиця Р.3 – Коефіцієнт, α , для опорних частин кочення

Кількість ОЧ у групі, n	Коефіцієнт, α
≤ 4	1
$4 < n < 10$	$\alpha = (12 - n)/8$
≥ 10	0,25

Р.4 Закріплення опорних частин

Р.4.1 Анкерення (закріплення) опорних частин до опор та прогонових будов проєктують за розрахунками 1 групи граничних станів. Потрібно враховувати тертя, що виникає на контактній опорної частини з опорами та прогоновими будовами, крім вказаного у Р.4.3.

$$F_{xy,Ed} \leq F_{xy,Rd} \quad (P.8)$$

де $F_{xy,Ed}$ – розрахункове значення сили зсуву, що діє на опорну частину;

$F_{xy,Rd}$ – розрахункове значення опору зсуву опорної частини.

$$F_{xy,Rd} = F_{z,Ed} \frac{\mu_k}{\gamma_\mu} + F_{xy,a,Rd} \quad (P.9)$$

де $F_{z,Ed}$ – мінімальне розрахункове значення опорної реакції;

$F_{xy,a,Rd}$ – розрахункове значення опору деталей анкерення опорної частини в горизонтальній площині;

μ_k – характеристичне значення коефіцієнта тертя на контактній опорною частиною;

γ_μ – значення коефіцієнта надійності для тертя приймають:

1,25 – на контактній сталі по бетону;

2,0 – на контактній сталі по сталі.

Таблиця Р.4 – Характеристичні значення коефіцієнтів тертя

Стан поверхні сталевих компонентів	Сталь по сталі	Сталь по бетону
Непокрита сталь вільна від олії Металеві розпилені покриття Покриття з цинк-силікату	0,4	0,6
Інша поверхня	На основі тесту	На основі тесту

Р.4.2 У разі динамічних навантажень мінімальне значення $F_{z,Ed}$ потрібно визначати з урахуванням усіх можливих динамічних варіацій від руху тимчасового навантаження.

Р.4.3 Для залізничних мостів та для мостів, розташованих у сейсмічних зонах, приймають $F_{z,Ed} = 0$.

Р.4.4 Якщо анкерні болти або інші пристрої фіксують опорну частину проти будь-якого

горизонтального переміщення, то їх розраховують лише на частину горизонтальної сили, тобто потрібно враховувати тертя. Якщо анкерні болти поміщено в отвори, що мають люфт, то їх потрібно розраховувати на повне горизонтальне зусилля $F_{xy,Ed}$.

Р.4.5 Переміщення нерухомих опорних частин до 2 мм не враховують, якщо вони покращують проєктну ситуацію. Якщо горизонтальну силу сприймає більше ніж одна опорна частина, то можливе переміщення 2 мм. Потрібно враховувати під час розподілу зусиль між опорними частинами.

Р.4.6 Закріплення еластомерних опорних частин

Р.4.6.1 Встановлювати ЕАОЧ без додаткового закріплення проти проковзування під дією мінімального стискання $\sigma_{c,d \min} = F_{z,d \min} / A_r \geq 3$ МПа, допускається за умови:

$$F_{xy,d} \leq \mu_e \cdot F_{z,d \min}, \quad (\text{Р.10})$$

де $F_{xy,d}$ – сумарний вектор горизонтальних сил;

$F_{z,d \min}$ – мінімальна вертикальна сила;

μ_e – коефіцієнт тертя ЕАОЧ по поверхні балки або підферменника;

$$\mu_e = 0,1 + 1,5 \cdot K_f / \sigma_m, \quad (\text{Р.11})$$

$K_f = 0,6$ – для бетонної поверхні; $K_f = 0,2$ – для всіх інших поверхонь;

σ_m – усереднене значення напружень стиску в МПа, під навантаженням $F_{z,d \min}$.

Р.4.6.2 Для опорних частин залізничних мостів допускаються зменшувати коефіцієнт тертя.

Р.5 Основні дані і розрахунки опорних частин

Р.5.1 Еластомерні армовані опорні частини

Р.5.1.1 Найбільш поширений тип ЕАОЧ – тип В, рекомендується застосовувати для всіх типів мостів (рисунок Р.4).

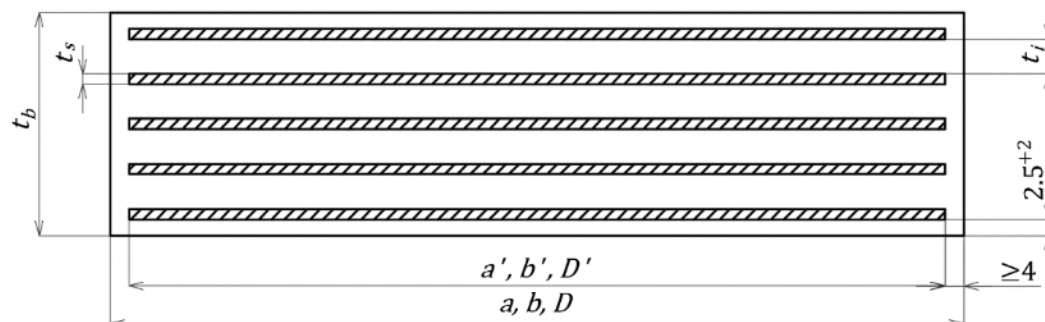


Рисунок Р.4 – ЕАОЧ типу В. Переріз і позначення розмірів

Р.5.1.2 ЕАОЧ типу А може бути застосовано на стадії постійної експлуатації для сейсмічних навантажень і стадіях зведення конструкцій, коли потрібно забезпечити великі переміщення.

Р.5.1.3 ЕАОЧ, крім типу А, практично не деформуються від стискання, за рахунок роботи еластомеру в обіймі між сталевими листами, де еластомер може сприймати тиск до 30 МПа. Окремі шари еластомеру можуть зміщуватися, що забезпечує відносно легкий зсув і поворот.

Р.5.1.4 ЕАОЧ мають відповідати вимогам міцності, деформативності і довговічності.

Р.5.1.5 Основні параметри, що використовують для характеристики ЕАОЧ, і їх позначення наведено нижче:

a , b або D – розміри контуру ЕАОЧ у плані вздовж і поперек мосту або діаметр круглої ЕАОЧ; для зменшення опору від повороту приймають $a \leq b$;

a' , b' або D' – відповідні розміри сталевих листів;

t_b – висота ЕАОЧ;

t_s і t_i – товщина сталевих листів і товщина проміжних шарів еластомеру;

t_e – сумарна товщина t_i проміжних шарів еластомеру збільшена на $1,4 \cdot t_i$ – для зовнішніх шарів еластомеру за їх товщині не менше ніж 3 мм;

n – кількість проміжних шарів еластомеру;

$F_{z,d}$ – розрахункова вертикальна сила;

σ_{Rd} – розрахунковий опір стиску ОЧ; рекомендовані значення:

$\sigma_{Rd} \leq 12$ МПа – для залізничних мостів;

$\sigma_{Rd} \leq 15$ – для всіх інших мостів;

τ_{Rd} – розрахунковий опір зсуву ОЧ; рекомендовані значення:

$\tau_{Rd} \leq 4$ МПа – для залізничних мостів;

$\tau_{Rd} \leq 5$ МПа – для всіх інших мостів;

G – модуль зсуву еластомеру ОЧ;

$\nu = 0,5$ – коефіцієнт Пуассона.

Р.5.1.6 Основним параметром, який визначає реактивні зусилля на опори, є показник модуля зсуву G . Модуль зсуву збільшується зі зниженням температури, для мостів найбільш несприятливою ситуацією є низька температура. Модуль зсуву приймають за температури найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю 0,98. У разі відсутності такої інформації, розрахункові значення модуля зсуву G допускається приймати:

$G = 1,0$ МПа – за температури мінус 25 °С;

$G = 3,0$ МПа – за температури мінус 40 °С.

Р.5.1.7 Розрахунковий опір стисканню, σ_{Rd} , визначений для ефективної площі A_r (див. Р.5.1.10), допускається приймати відповідно до таблиці Р.5.

Таблиця Р.5 – Розрахунковий опір стиск σ_{Rd} , визначений для ефективної площі A_r

Відносна висота ЕАОЧ (відносна висота дорівнює відношенню сумарної товщини шарів еластомеру до меншого розміру ОЧ у плані)	Розрахунковий опір стисканню для мостів σ_{Rd} , МПа	
	залізничних	всіх інших
≤ 20	12	15
0,25	10	15
0,30	8	12,5
0,45	–	7,5

Р.5.1.8 Граничні розрахункові значення тангенсів кутів зсуву допускається приймати відповідно до таблиці Р.6.

Таблиця Р.6 – Граничні розрахункові значення тангенсів кутів зсуву

Навантаження і впливи	Граничні значення тангенсів кутів зсуву для мостів	
	залізничних	всіх інших
Постійні + температурний вплив (статичні)	0,6	0,7
Тимчасові (динамічні)	0,2	0,3
Статичні + динамічні	0,7	0,9
Сейсмічні (за умови закріплень ЕАОЧ до балок і опор)	2	2

Р.5.1.9 Правила проєктування, перевіряння й обмеження застосування ЕАОЧ виконують відповідно до [ДСТУ EN 1337-3](#). Нижче наведено формули для перевіряння основних проєктних параметрів ЕАОЧ, у разі відсутності необхідної інформації від виробника.

Р.5.1.10 Обмеження нормальних напружень. Під час перевірки міцності за напруженнями стискання $\sigma_{c,d}$ від вертикальної сили $F_{z,d}$ потрібно, замість повної площі, використовувати ефективну площу A_r і визначати напруження за формулою:

$$\sigma_{c,d} = \frac{F_{z,d}}{A_r} \leq \sigma_{Rd}, \quad (\text{Р.12})$$

де $\sigma_{c,d}$ – розрахункове напруження стискання;

A_r – ефективну площу ЕАОЧ знаходять за формулою:

$$A_r = A_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{v_{x,d}}{a'} + \frac{v_{y,d}}{b'} \right) \right], \quad (\text{Р.13})$$

A_1 – площа сталевго листа, крім площі отворів;

$v_{x,d}$ і $v_{y,d}$ – переміщення вздовж і поперек мосту.

Р.5.1.11 Обмеження дотичних напружень. Перевірка міцності за дотичними напруженнями від дії вертикальних навантажень $F_{z,d}$ і переміщень горизонтальних v_{xy} і кута повороту α_d виконують за формулою:

$$\tau_{c,d} = \tau_{z,d} + \tau_{v,d} + \tau_{a,d} \leq \tau_{Rd}, \quad (\text{Р.14})$$

де $\tau_{z,d} = \frac{1,5 \cdot F_{z,d}}{S \cdot A'}$ – дотичні напруження від вертикальної сили $F_{z,d}$,

S – коефіцієнт форми: відношення площі еластомеру під сталевим листом до площі бічних поверхонь;

$$\tau_{xy,d} = \frac{v_{xy} \cdot G}{t_e} \text{ – дотичні напруження від переміщень } v_{xy};$$

$$\tau_{a,d} = G \cdot \frac{\alpha_d}{2 \cdot n} \cdot \left(\frac{a'}{t_i} \right) \text{ – дотичні напруження від кута повороту } \alpha_d;$$

$\alpha_d = \alpha_{0,d} + \alpha_{w,d} + m \cdot \alpha_{t,d} + \alpha_i + \alpha_0$ – сумарний кут повороту, рад.

$\alpha_{0,d}$ – початковий кут повороту; допускається приймати = 0,01;

$\alpha_{w,d}$ – кут повороту від постійних навантажень;

$\alpha_{t,d}$ – кут повороту від транспортних навантажень;

α_i – ухил верхньої поверхні відносно підферменника;

$m = 1$ – для автомобільного і $m = 1,2$ – для залізничного навантаження;

S – коефіцієнт форми: відношення площі еластомеру під сталевим листом до площі бічних

поверхонь
$$S = \frac{A_1}{I_p \cdot t_e} ;$$

I_p – периметр сталевих листів з урахуванням отворів;

t_e – ефективна товщина шару еластомеру; для внутрішніх шарів $t_e = t_i$; для зовнішніх шарів $t_e = 1,4 \cdot t_i$.

Р.5.1.12 Обмеження деформацій. Сумарні відносні деформації $\epsilon_{t,d}$ від дії розрахункового навантаження E_d у будь-якій точці ЕАОЧ визначають за формулою:

$$\epsilon_{t,d} = K_L \cdot (\epsilon_{c,d} + \epsilon_{q,d} + \epsilon_{a,q}), \quad (\text{P.15})$$

де K_L – коефіцієнт навантаження: $K_L = 1,5$ – для динамічних навантажень; $K_L = 1,0$ – для всіх інших навантажень;

$\epsilon_{c,d}$ – розрахункова деформація розтягування;

$\epsilon_{q,d}$ – розрахункова деформація зсуву;

$\epsilon_{a,q}$ – розрахункова деформація повороту.

Сумарна відносна деформація $\epsilon_{t,d}$ не має перевищувати граничне значення $\epsilon_{u,d}$:

$$\epsilon_{u,d} = \epsilon_{u,k} / \gamma_m \geq \epsilon_{t,d}, \quad (\text{P.16})$$

де $\epsilon_{u,k} \leq 7$ – максимальне значення для стадії експлуатації;

$\gamma_m = 1$ – коефіцієнт надійності, якщо не передбачено інше.

Р.5.1.13 Горизонтальне переміщення зсуву ЕАОЧ на величину v_{xy} спричинює реактивну силу, яку визначають за формулою:

$$R_{xy} = \frac{A \cdot G \cdot v_{xy}}{T_e}, \quad (\text{P.17})$$

де R_{xy} – горизонтальна сила від зсуву;

A – загальна площа поперечного перерізу опорної частини;

G – модуль зсуву опорної частини;

T_e – сумарна товщина шарів еластомерного матеріалу, що зазнають зсуву.

Поворот ЕАОЧ відносно осі вздовж розміру b спричинює реактивний момент, який визначають за формулою:

$$\text{– для прямокутних } M = G \cdot \frac{\alpha \cdot a'^5 \cdot b'}{n \cdot t_i^3 \cdot K_s}, \quad (\text{P.18})$$

$$\text{– для круглих } M = G \cdot \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D^6}{512 \cdot n \cdot t_i^3}. \quad (\text{P.19})$$

Таблиця Р.7 – Коефіцієнти реактивного моменту, K_s

b/a	0,5	0,75	1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5
K_s	137,0	100,0	86,2	80,4	79,3	78,4	76,7	75,3
b/a	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,5	10,0	∞
K_s	74,1	73,1	72,2	71,5	70,8	68,3	61,9	60,0

Р.5.1.14 Вертикальну деформацію ЕАОЧ від вертикальної сили F_z визначають як суму деформацій шарів еластомеру за формулою:

$$v_c = \sum \frac{F_z \cdot t_i}{A'} \cdot \left(\frac{1}{5 \cdot G \cdot S_i^2} + \frac{1}{E_b} \right), \quad (\text{Р.20})$$

де S_i – коефіцієнт форми шару еластомеру;

$E_b = 2000$ МПа – значення модуля об'ємної пружності еластомеру.

Р.5.1.15 Горизонтальну деформацію ЕАОЧ від горизонтальної сили F_x визначають як суму деформацій шарів еластомеру за формулою:

$$v_{xy} = \frac{V_{xy} \cdot T_q}{G \cdot A'}, \quad (\text{Р.21})$$

де V_{xy} – вектор горизонтальних сил;

T_q – повна товщина всіх шарів еластомеру (зовнішні включно).

Р.5.1.16 Обмеження висоти ЕАОЧ для забезпечення стійкості для прямокутних ОЧ перевіряють за формулою:

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 \cdot a' \cdot G \cdot S}{3 \cdot T_e}. \quad (\text{Р.22})$$

Для круглих ОЧ, a' потрібно приймати як D' .

Р.5.2 Коткові опорні частини

Р.5.2.1 Основним типом розрахунків коткових і балансирних опорних частин є перевірка міцності за контактними напруженнями.

Р.5.2.2 Розрахунки міцності котка на стискання на контакті циліндра котка з плоскою поверхнею опорної плити виконують за формулою:

$$N'_{Ed} \leq N'_{Rd}, \quad (\text{Р.23})$$

де N'_{Ed} – діюча розрахункова вертикальна сила на одиницю довжини котка;

$N'_{Rd} = N'_{Rk} / \gamma_M^2$ – розрахунковий опір стисканню на одиницю довжини котка;

$$N'_{Rk} = 23 \cdot r \cdot R_{un}^2 / E, \quad (\text{Р.24})$$

N'_{Rk} – характеристичне значення опору стисканню на одиницю довжини котка;

r – радіус циліндричної поверхні;

R_{un} – тимчасовий опір;

E – модуль деформації;

$\gamma_M = 1,0$ – коефіцієнт надійності.

Р.5.2.3 Розрахунки міцності на контакті двох сферичних поверхонь на стискання на контакті циліндра котка з площиною опорної плити виконують за формулою:

$$N'_{Ed} \leq N'_{Rd}, \quad (\text{P.25})$$

де N'_{Ed} – діюча розрахункова вертикальна сила на сферу;

$N'_{Rd} = N'_{Rk} / \gamma_M^3$ – розрахунковий опір на сфери на контакті;

$$N'_{Rk} = 220 \cdot \left(\frac{r_1 - r}{r_1 \cdot r} \right) \cdot R_{un}^3 / E^2; \quad (\text{P.26})$$

N'_{Rk} – характеристичне значення опору стисканню на сфери на контакті;

r_1 – радіус увігнутої поверхні;

r – радіус опуклої поверхні;

R_{un} – тимчасовий опір;

E – модуль деформації;

$\gamma_M = 1,0$ – коефіцієнт надійності.

Р.5.2.4 Розрахунки міцності на контакті сферичної поверхні на стискання з плоскою поверхнею виконують за формулою:

$$N'_{Ed} \leq N'_{Rd}, \quad (\text{P.27})$$

де N'_{Ed} – діюча розрахункова вертикальна сила на сферу;

$N'_{Rd} = N'_{Rk} / \gamma_M^3$ – розрахунковий опір на сфери на контакті;

$$N'_{Rk} = 220 \cdot r^2 \cdot R_{un}^3 / E^2; \quad (\text{P.28})$$

N'_{Rk} – характеристичне значення опору стисканню на сфери на контакті;

r – радіус опуклої поверхні сфери;

R_{un} – тимчасовий опір;

E – модуль деформації;

$\gamma_M = 1,0$ – коефіцієнт надійності.

Р.5.2.5 Допускається, в запас міцності, виконувати перевірки міцності циліндричної поверхні на контакті з плоскою поверхнею опорної плити, з використанням значення діаметрального стискання R_{cd} .

Перевірку навантаження на коток виконують за формулою:

$$N'_{Ed} \leq N'_{Rd}, \quad (\text{P.29})$$

де N'_{Ed} – діюча розрахункова вертикальна сила на коток;

$N'_{Rd} = N'_{Rk} / \gamma_{M0}$ – розрахунковий опір котка на стиск;

$$N'_{Rk} = R_{cd,k} \cdot d \cdot l \cdot m; \quad (\text{P.30})$$

$R_{cd,k}$ – характеристичне значення опору діаметральному стиску одиниці довжини котка, яке розраховують за формулами:

$R_{cd,k} = 0,025 \cdot R_{un}$ для $R_{un} \leq 600$ МПа,

$R_{cd,k} = \left[0,025 + 0,042 \cdot 10^{-6} \cdot (R_{un} - 600)^2 \right] \cdot R_{un}$ для $R_{un} > 600$ МПа;

d – діаметр котка;

l – довжина контакту котка;

m – коефіцієнт умов роботи (таблиця 7.1);

γ_{M0} – коефіцієнт надійності.

Р.6 Ексцентриситети зусиль від опорних частин

Допуски на планове й висотне положення опори і підферменника та граничний ексцентриситет осі обпирання відносно осі фундаменту наведено в таблиці Р.8.

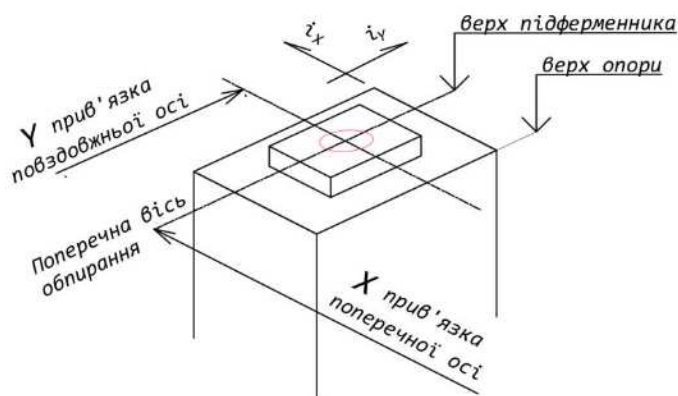


Рисунок Р.5 – Параметри, що потрібно контролювати

Таблиця Р.8 – Допуски на положення опори і підферменника та граничний ексцентриситет

Параметри контролювання	Граничне значення відхилів під час встановлення ОЧ	
	на підлитий розчин	на суху поверхню підферменника
Опора, підферменник і осі обпирання (дані для проектування)		
Відмітка верху опори, мм	± 10	
Відмітка верху підферменника, мм	± 5	± 1
Ухили підферменника по X і Y	$\pm 0,01$	$\pm 0,002$
Точність геодезичної розбивки осей X і Y, мм	± 5	
Зміщення осі обпирання відносно осі опори	0,01 ширини опори, але не більше ± 20 мм	

Р.6.1 Ексцентриситети і допуски

Р.6.1.1 Потрібно розрізняти ексцентриситет осі обпирання балки на опору від переміщень верхніх плит (балансирів) ОЧ від температури і ексцентриситет від похибок у положенні нижнього балансиру ОЧ відносно осі опори.

Р.6.1.2 Ексцентриситет відносно осі опори, що виникає під час встановлення опорних частин, дорівнює величині зміщення нижньої частини опорних частин відносно осі опори.

Р.6.1.3 Ексцентриситет, що виникає від переміщень верхніх плит (балансирів) ОЧ, враховують для еластомерних і коткових опорних частин у розмірі половини величини переміщень осі обпирання балок відносно осі опор $e = \Delta X_T / 2$. В ОЧ, що ковзають, ексцентриситети не виникають (див. рисунок Р.6).

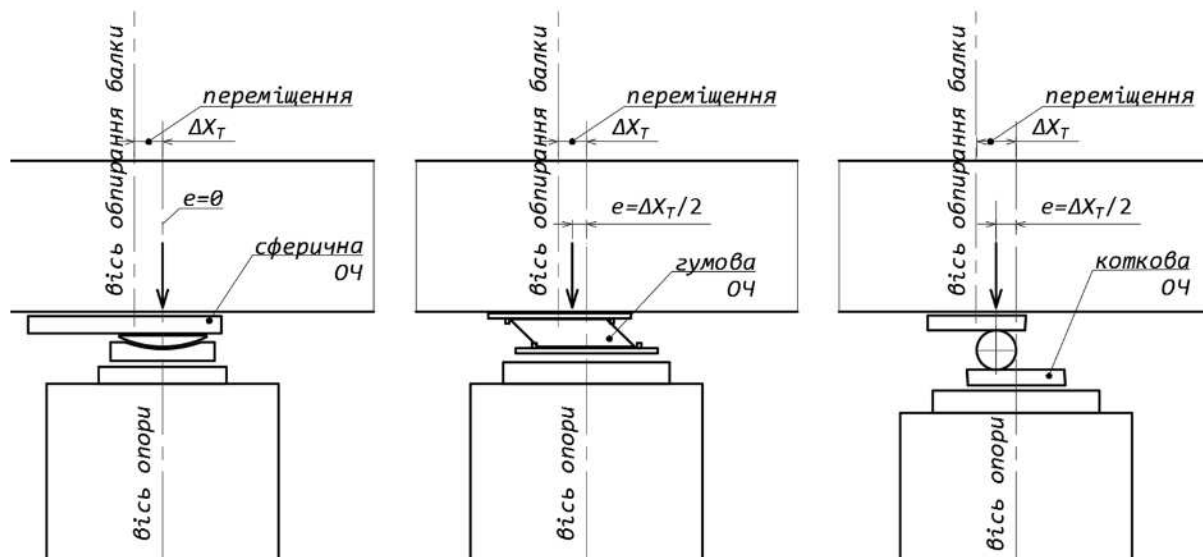


Рисунок Р.6 – Ексцентриситети, що виникають від переміщення балки

Р.6.1.4 Для сталевих нерозрізних балок прогонових будов, наприклад, під час спорудження методом поздовжнього насунання, похибка в положенні опорних перерізів може збільшуватися з довжиною. Помилки, пов'язані із зварювальними деформаціями в стиках окремих монтажних марок, може становити від 3 мм до 4 мм. Рекомендовано на кресленні монтажної схеми наводити один монтажний стик на прогін із допусками для прирізання по місцю і допуск на положення опорних перерізів ± 20 мм, для кожного прогону і між крайніми опорними перерізами.

Р.6.1.5 Якщо допуск на установку нижнього балансиру в проєкті не зазначено, то відносний ексцентриситет положення нижнього балансиру відносно осі опори приймають як суму похибок у положенні опорних перерізів балки і похибок під час спорудження опор:

- за рахунок похибок у довжині балки $\Delta X_{beam} \pm 20$ мм;
- за рахунок похибок під час спорудження опор $\Delta X_{pier} \pm 20$ мм.

Температурні деформації прогонової будови під час встановлення враховувати не потрібно.

Р.6.1.6 Сумарний ексцентриситет опорної реакції балки відносно осі опори e_{total} становить суму похибок під час установки нижнього балансиру й ексцентриситету від температурних переміщень балки для еластомерних і коткових опорних частин, і його знаходять за формулою:

$$e_{total} = \Delta X_T / 2 + \Delta X_{beam} + \Delta X_{pier} \quad (P.31)$$

Р.7 Загальні вимоги до опорних частин

Р.7.1 Проєкт має передбачати:

- відсутність місць застою води або накопичення вологи на опорних частинах та поблизу від них;
- можливість видалення бруду та слідів корозії з усіх елементів опорних частин (особливо з елементів ковзання);
- можливість щорічного контролю переміщень опорних частин;
- можливість нагляду за елементами анкерування опорних частин до прогонової будови і за станом підферменників.

Р.7.2 У проєкті потрібно передбачити можливість заміни опорних частин, для цього потрібно визначити кількість, вантажність і висоту підйому необхідних домкратів та передбачити місця для їхнього встановлення.

Р.7.3 Захист від корозії сталевих конструкцій опорних частин проєктують на розрахунковий строк експлуатації опорних частин. У разі лакофарбового покриття пошкодження не повинні перевищувати 1 % захищеної площі відповідно до Ri3 згідно з [ДСТУ EN ISO 4628-3](#).

Р.8 Горизонтальні реакції на опори

Під час визначення горизонтальних реакцій на опори, де встановлено коткові або опорні частини, що ковзають, потрібно знаходити несприятливий та сприятливий коефіцієнт тертя відповідно до Р.3.2.

Р.8.1 Визначення температурних переміщень

Р.8.1.1 Характеристичні значення температур для теплого $t_{n,T}$ і холодного $t_{n,X}$ періоду року приймають відповідно до 22.1 [ДБН В.1.2-15](#). Розрахункові значення переміщень отримують з урахуванням коефіцієнта надійності $\gamma_f = 1,2$.

Р.8.1.2 Рекомендовано температурні переміщення визначати враховуючи особливості, що виникають під час встановлення опорних частин. Найбільші t_w і найменші t_c значення температур рекомендовано визначати за формулами:

$$t_w = T_{\max} + \Delta, \quad (\text{Р.32})$$

$$t_c = T_{n,c}, \quad (\text{Р.33})$$

$T_{\max}$ – абсолютний максимум температури повітря;

Δ – нагрівання сонцем, що складає для сталевих мостів 10°C .

t_c – температура повітря найбільш холодної п'ятиденки з забезпеченням 0,98.

Розрахунковий розмах температур (відхил від середнього значення) знаходять за формулою:

$$\Delta T_d = \Delta T_k + \Delta T_y + \Delta T_0, \quad (\text{Р.34})$$

де ΔT_k – характеристичне значення розмаху температур знаходять за формулою:

$$\Delta T_k = 0,5(|t_w| + |t_c|), \quad (\text{Р.35})$$

$\Delta T_y = 5^\circ\text{C}$ – добавка на похибку під час встановлення;

$\Delta T_0 = 0^\circ\text{C}$ – за можливості коригування положення ОЧ за температурою; $\Delta T_0 = 15^\circ\text{C}$ – без можливості коригування положення ОЧ за температурою, під час встановлення за температури повітря від мінус 10°C до плюс 10°C .

Р.8.2 Визначення зусиль на опорі з ЕАОЧ

Р.8.2.1 Під час визначення горизонтальних зусиль на опорі і центру розширення від температурних деформацій і від горизонтальних сил потрібно враховувати пружність ЕАОЧ, а також пружність опор на згин, якщо їхня висота в температурній гілці відрізняється на 10 % або більше.

Р.8.2.2 Опорні частини у розрахункових схемах потрібно задавати стрижнями, горизонтальне переміщення верху яких відносно опори еквівалентне переміщенню (зсуву) ЕАОЧ. У разі різної висоти або жорсткості опор, їх також потрібно відображати в розрахункових схемах (рисунок Р.7).

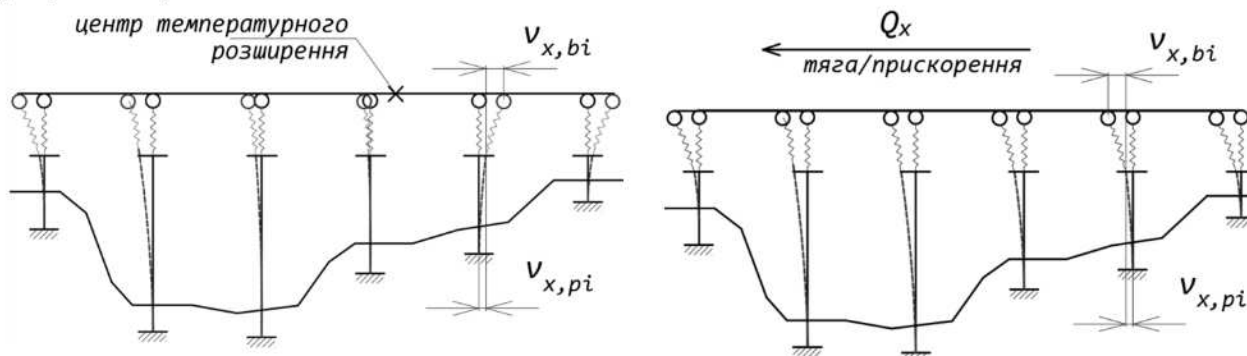


Рисунок Р.7 – Розрахункова схема для визначення горизонтальних сил на опори: ліворуч – від температури; праворуч – від сил тяги/прискорення

Р.8.2.3 Значення коефіцієнтів тертя або модулів пружності (для пружного матеріалу) приймають за даними виробника опорних частин.

Р.8.3 Визначення горизонтальних зусиль на опори від температурних переміщень

Р.8.3.1 Характеристичні значення горизонтальних зусиль на опору $F_{x,i}$, на якій встановлено один ряд опорних частин, визначають за формулою:

$$F_{x,i} = \sum F_{z,a} \cdot \mu_a, \quad (\text{Р.36})$$

де $\sum F_{z,a}$ – сума вертикальних реакцій від характеристичних постійних навантажень:

μ_a – коефіцієнт тертя для несприятливої комбінації.

Якщо кількість ОЧ на опорі менше 5 шт., тоді використовують формулу:

$$F_{x,i} = \sum F_{z,a} \cdot \mu_{\max}. \quad (\text{Р.37})$$

Р.8.3.2 Характеристичні значення горизонтальних зусиль на опору F_x , на якій встановлено два кінця прогонових будов на ОЧ, що ковзають, визначають за формулою:

$$F_x = \sum F_{z,a} \cdot \mu_a - \sum F_{z,r} \cdot \mu_r, \quad (\text{Р.38})$$

де $\sum F_{z,a}$ і $\sum F_{z,r}$ – сума більших та менших вертикальних опорних реакцій для основної і компенсувальної дії;

μ_a і μ_r – коефіцієнти тертя для основної і компенсувальної дії.

Якщо кількість ОЧ на опорі менше 5 шт., тоді використовують формулу:

$$F_x = F_{z,a} \cdot \mu_{\max}. \quad (\text{Р.39})$$

Р.8.3.3 Характеристичні значення горизонтальних зусиль на опору F_H , на якій встановлено два кінця прогонових будов на ОЧ: один на рухомі, а другий на нерухомі, визначають за формулою:

$$F_H = F_{H,F} - \sum F_{z,r} \cdot \mu_r, \quad (\text{Р.40})$$

де $F_{H,F}$ – горизонтальне зусилля на нерухомі ОЧ;

$F_{z,r}$ – вертикальна реакція на рухомі ОЧ, для компенсувальної дії;

μ_r – коефіцієнт тертя для компенсувальної дії.

Якщо кількість рухомих ОЧ менше 5 шт. під кінцем прогонової будови, тоді використовують формулу:

$$F_H = F_{H,F}. \quad (\text{Р.41})$$

Р.8.3.4 Характеристичні горизонтальні зусилля на ряд нерухомих ОЧ визначають як різницю добутку суми основних і компенсувальних сил по різні боки від нерухомих ОЧ за формулою:

$$F_H = \sum F_{z,a} \cdot \mu_a - \sum F_{z,r} \cdot \mu_r, \quad (\text{Р.42})$$

де F_H – характеристичне горизонтальне зусилля на нерухомі ОЧ;

$F_{z,a}$ і $F_{z,r}$ – сума вертикальних реакцій більших та менших для основної і компенсувальної дії, по різні боки від нерухомих ОЧ.

Р.8.3.5 Розрахункове значення горизонтальних зусиль визначають за формулою:

$$F_{H,d} = \gamma_f \cdot F_H, \quad (\text{Р.43})$$

де γ_f – коефіцієнт надійності для тертя; рекомендоване значення $\gamma_f = 1,0$.

Р.8.4 Визначення горизонтальних зусиль на опори від сил тяги-гальмування

Р.8.4.1 Горизонтальні зусилля розподіляють між рухомими і нерухомими опорними частинами порівну, доки сили тертя не перевищено (за умови однакової жорсткості опор на згин).

Р.8.4.2 Після того, як утримувальну силу тертя перевищено, зусилля на нерухому ОЧ знаходять за формулою:

$$F_{H,k} = Q_{lk} - \sum F_{z,r} \cdot \mu_r, \quad (\text{Р.44})$$

де Q_{lk} – характеристичне значення зусиль тяги-гальмування;

$F_{z,r}$ – сума вертикальних опорних реакцій на рухому ОЧ;

μ_r – коефіцієнт тертя для компенсувальної дії;

Якщо кількість рухомих ОЧ на опорі менше 5 шт., тоді використовують формулу:

$$F_{H,k} = Q_{lk}. \quad (\text{Р.45})$$

Розрахункове значення зусилля на нерухому ОЧ розраховують за формулою:

$$F_{Y,d} = Q_{ld} - \sum F_{z,r} \cdot \mu_r, \quad (\text{Р.46})$$

де $Q_{ld} = Q_{lk} \cdot \gamma_f$ – розрахункове значення зусилля тяги-гальмування;

γ_f – коефіцієнт надійності до рухомих навантажень.

Додаток С
(довідковий)
ПОЗНАКИ

Познаки величин літерами наведено в порядку їх знаходження в тексті. Якщо для розділу не наведено значення позначки, то воно має значення, наведене вище (якщо не вказано, що ця позначка стосується лише певного розділу).

С.1 Позначки розділів основного тексту

Розділ 6

R_{yn} – опір текучості (характеристичне значення);

R_{un} – тимчасовий опір (характеристичне значення);

E – модуль пружності;

G – модуль зсуву;

ν^0 – коефіцієнт Пуассона у пружній стадії;

α – коефіцієнт лінійного температурного розширення.

Розділ 7

E_d – функція навантаження (значення розрахункового узагальненого впливу – зусилля, деформації тощо);

E_k – характеристичне значення функції навантаження;

R_d – функція опору (значення розрахункового узагальненого опору перерізу або з'єднання);

R_k – характеристичне значення функції опору;

m – коефіцієнт умов роботи для конкретного випадку;

γ_m – коефіцієнт надійності (враховує відхил від номінальних значень механічних властивостей матеріалу і геометричних параметрів);

γ_f – коефіцієнт надійності до навантаження;

γ_r – коефіцієнт надійності за відповідальністю

$1+\mu$ – динамічний коефіцієнт;

$R_{s,k}$ – опір зрізу; характеристичне значення;

$R_{p,k}$ – опір зминанню торцевої поверхні; характеристичне значення;

$R_{lp,k}$ – опір зминанню циліндричної поверхні; характеристичне значення;

$R_{w,f}$ – опір кутового шва зрізу по наплавленому металу;

$R_{w,z}$ – опір кутового шва зрізу по металу сплавлення;

$R_{w,un}$ – тимчасовий опір наплавленого металу шва;

$\gamma_{M0} - \gamma_{M7}$ – коефіцієнти надійності опору матеріалу залежно від типів розрахунків, від різновиду елементів і з'єднань; позначки наведено в таблиці 7.3;

σ_x , σ_y і τ_{xy} – нормальні напруження в критичній точці вздовж осей x , y і дотичні напруження.

Розділ 8

N_{Ed} , $M_{x,Ed}$ і $M_{y,Ed}$ – діючі в перерізі розрахункова поздовжня сила і згинальні моменти відносно осей x і y ;

N_{Rd} , $M_{x,Rd}$ і $M_{y,Rd}$ – розрахункові опори перерізу поздовжній силі і згину відносно осей x і y ;

A_n – площа перерізу нетто;

b_{eff} – ефективна ширина плит;

A_{eff} , $W_{eff,x}$ і $W_{eff,y}$ – ефективні: площа і моменти опору перерізу відносно осей x і y , відповідно;

K_x і K_y – коефіцієнти збільшення опору перерізів за рахунок появи обмежених пластичних деформацій відносно головних осей x і y ;

N_{Rd} – розрахунковий опір перерізу отворами;

σ_{max} і σ_{min} – розрахункові максимальні і мінімальні (зі своїми знаками) нормальні напруження в точці, що перевіряють;

τ_1 і τ_2 – дотичні напруження в точці, що перевіряють (із урахуванням їхніх знаків), обчислені відповідно від тих самих навантажень, що і σ_{max} та σ_{min} ;

Q_{Ed} – розрахункова поперечна сила в перерізі;

S_x – статичний момент частини, що зазнає зсуву;

I_x – момент інерції перерізу;

t – товщина;

$Q_{pl,Rd}$ – розрахунковий пластичний опір зрізу, оцінюють виходячи з прямокутної епюри напружень в стінках;

A_Q – площа зрізу;

h_w – висота стінки;

t_w – товщина стінки;

N , M_x і M_y – поздовжня сила і згинальні моменти відносно осей x і y ;

A , I_x і I_y – площа і моменти інерції відносно осей x і y ;

y , x – координати для точки відносно головних осей;

B_ω – бімомент;

ω – секторіальна координата;

I_ω – секторіальний момент інерції;

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

$(1 - \rho)$ – зменшувальний коефіцієнт до розрахункового опору текучості для перерізів 2-го класу;

де $\rho = (2 \cdot Q_{Ed} / Q_{pl,Rd} - 1)^2$ – у разі зрізу;

$\rho = (2 \cdot Q_{Ed} / Q_{pl,T,Rd} - 1)^2$ – у разі кручення.

Розділ 10

λ – гнучкість;

l_{ef} – розрахункова або ефективна довжина елемента;

i – радіус інерції перерізу в напрямку осі найбільшої гнучкості;

e – розрахунковий ексцентриситет;

e_{rel} – відносний ексцентриситет;

η – коефіцієнт форми перерізу;

e_{ef} – приведений відносний ексцентриситет;

λ_{ef} – приведена гнучкість;

λ_a – гнучкість гілки наскрізного елемента;

$l_{ef,a}$ – ефективна довжина гілки наскрізного елемента;

i_a – радіус інерції перерізу гілки відносно власних осей згину;

i_{min} – мінімальний радіус інерції одної гілки;

N_{Ed} і $M_{Ed,x}$, $M_{Ed,y}$ – діючі розрахункові сила і згинальні моменти відносно осей x і y , відповідно;

N_{Rk} і $M_{Rk,x}$, $M_{Rk,y}$ – характеристичні опори стиску й опори згинальним моментам відносно осей x і y , відповідно;

A і $W_{x,c}$, $W_{y,c}$ – площа перерізу і моменти опорів для найбільш стиснутого волокна перерізу відносно осей x і y ;

N_{Rd} і $M_{Rd,x}$, $M_{Rd,y}$ – розрахункові опори стиску й опори згинальним моментам відносно осей x і y , відповідно;

γ_{M1} – коефіцієнт надійності для розрахунків стійкості, що дорівнює 1,1;

φ_c і φ_b – коефіцієнти поздовжнього згину для стиснутих і зігнутих стрижнів;

e_y і e_x – ексцентриситети сили N_{Ed} відносно центра ваги перерізу в напрямку осей y і x , відповідно;

η – коефіцієнт впливу форми перерізу;

$\sigma_{f,h}$ – найбільше напруження в стиснутому поясі від дії згинального моменту в горизонтальній площині в перерізі, що знаходиться в межах середньої третини незакріпленої довжини стиснутого поясу балки;

$\sigma_{f,v}$ – те саме, у вертикальній площині;

λ і λ_y – гнучкості за згинально-крутильною формою втрати стійкості.

Розділ 11

k – параметр для оцінювання стійкості пластинки;

$\sigma_{x,c}$ – напруження стиску вздовж пластинки за рівномірним розподілом напружень по ширині;

b – розрахункова ширина пластинки;

t – товщина пластинки;

D – діаметр циліндричних труб;

α – коефіцієнт для оцінювання стійкості пластинки;

$\sigma_{x,cr,ef}$ – приведені критичні напруження;

$\sigma_{x,cr}$ – критичні напруження для знаходження $\sigma_{x,cr,ef}$;

ν – коефіцієнт защемлення пластинки;

ξ – коефіцієнт, що враховує перекиї епюри напружень;

$\delta = b_f / h_w$ – відношення ширини поясу до ширини стінки;

$\beta = t_w / t_f$ – відношення товщини стінки до товщини поясу.

Розділ 12

μ – коефіцієнт розрахункової довжини;

ξ – коефіцієнт для розрахунку стійкості відкритих поясів;

d – відстань по довжині мосту між рамами, що утримують пояс від поперечних горизонтальних переміщень;

δ – найбільше горизонтальне переміщення вузла рами від одиничної сили;

I_m – середнє значення моменту інерції стиснутого поясу балки (ферми) відносно вертикальної осі;

l і l_{ef} – довжина прогону арки і розрахункова довжина арки;

$a = f / l$ – коефіцієнт відношення f – стрілки арки до прогону арки;

ζ – коефіцієнт для розрахунку стійкості арок.

Розділ 14

$\sigma_{\max,ef}$ – абсолютне найбільше значення нормальних напружень – додатне за розтягування;

$\tau_{\max,ef}$ – абсолютне найбільше значення дотичних напружень для розрахунків кутових швів;

γ_{fat} – коефіцієнт, що враховує зменшення розрахункового опору текучості за рахунок втоми;

ζ – коефіцієнт дорівнює 1,0 для залізничних мостів;

ν і ξ – коефіцієнти, що враховують міцність сталі і концентрацію напружень;

α і δ – коефіцієнти, що враховують марку сталі і змінність режиму навантаження;

β – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;

ρ – коефіцієнт асиметрії циклів змінних напружень.

Розділ 15

N_d і N_c – зусилля відповідно в розкосі і розпірці в'язей;

$N_{d,l}$ і $N_{d,r}$ – зусилля в розкосі відповідно з лівого і правого боків від розпірки;

σ_f – нормальне напруження в поясі головної ферми;

σ_{mf} – середні напруження в нижньому поясі поперечної балки;

A_d і A_c – площа перерізу відповідно розкосу і розпірки в'язей;

I – момент інерції поясу головної ферми відносно вертикальної осі;

α – кут між розкосом в'язей і поясом головної ферми;

N_c – зусилля в розпірці в'язей;

l_m – відстань між центрами вузлів прикріплення елементів до поясу;

F – опорна реакція поперечної балки;

a – відстань між віссю перерізу поясу головної ферми і віссю перерізу поздовжньої балки;

B – відстань між осями поясів головних ферм;

l_m – довжина панелі головної ферми (відстань між поперечними балками);

H – розрахункова довжина підвіски або стояка з площини ферми;

I_{bal} – момент інерції перерізу бруто поперечної балки по середині її довжини;

I_c – момент інерції перерізу бруто підвіски чи стояка відносно осі, паралельної до площини головної ферми;

I_t – момент інерції вільного кручення поясу ферми, що примикає до поперечної балки.

Розділ 16

t_f – товщина поясу;

$b_{w,c}$ – ширина стінки поперечного ребра.

С.2 Позначки, наведені в додатках

Додаток А

M_{Rd} – граничний момент опору перерізу;

W_{el} – пружний момент опору;

R_{ym} – опір сталі текучості; характеристичне значення;

γ_{M0} – коефіцієнт надійності;

m – коефіцієнт умов роботи;

κ – коефіцієнт обмежених залишкових деформацій;

ε_{pl} – залишкові деформації;

A – площа перерізу;

a – відстань між центрами ваги половинних площ;

b_f і t_f – ширина і товщина звисання поясу;

b_w і t_w – ширина і товщина стінки;

ρ – зменшувальний коефіцієнт;

α – коефіцієнт;

Q_{Ed} – діюча поперечна сила;

Q_{Rd} – розрахунковий опір перерізу зрізу;

h_w і t_w – висота і товщина стінки.

Додаток Б

R_{yn} – опір текучості (характеристичне значення), напруження за якого залишкові деформації становлять 0,2 % із забезпеченістю 95 %;

R_{un} – тимчасовий опір (характеристичне значення), напруження, яке дорівнює відношенню найбільшого навантаження, що передуює руйнуванню, до початкової площі зразка;

l_i – довжина зразка;

A_0 – площа поперечного перерізу зразка;

CEV – вуглецевий еквівалент;

$R_{w,yn}$ – характеристичні значення наплавленого металу шва опору текучості;

$R_{w,un}$ – характеристичні значення наплавленого металу шва тимчасового опору.

Додаток В

b_0 – фактична ширина плити;

β – коефіцієнт редуції;

b_{eff} – ефективна ширина плити;

A_{sl} – площа поздовжніх ребер плити;

t – товщина листа настилу;

L_e – ефективна довжину прогону;

α_0 – коефіцієнт урахування площі ребер ортотропних плит;

σ_2 і σ_1 – найменші і найбільші нормальні напруження в плиті;

ν_1 – коефіцієнт редуції i -того відрізка;

b_1 – ширина i -того відрізка;

α – коефіцієнт відношення напружень;

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

ε_{pl} – пластична деформація;

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

A_σ – площа, що дорівнює площі епюри нормальних напружень;

$\sigma_{\max}^*$ – максимальне нормальне напруження на плиті.

Додаток Г

I_t і W_t – момент інерції і момент опору перерізу;

I_p і W_p – момент полярний і полярний момент опору перерізу;

d і d_1 – зовнішній і внутрішній діаметр труби;

s і t – розміри суцільного перерізу;

α і β – коефіцієнти для підрахунку геометричних перерізів за кручення;

M_t – момент за вільного кручення;

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;

A – площа, утворена середньою лінією замкнутого контуру тонкостінного перерізу;

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

G і E – модуль зсуву і модуль пружності;

M_ω – момент за стисненого кручення;

B_ω – бімомент;

I_ω – секторіальний момент інерції;

S_ω – секторіальний статичний момент;

ω – секторіальна площа (координата);

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

t – товщина стінки профілю;

e_{rel} – відносний ексцентриситет;

η – коефіцієнт форми поперечного перерізу;

$\bar{\lambda}$ – умовна гнучкість;

λ , λ_x , λ_y , – гнучкість, гнучкості відносно осей;

λ_{ef} – приведена гнучкість;

N_{cr} – критична сила;

M_{cr} – критичний згинальний момент;

A_f – площа полиць;

A_w – площа стінок;

M – найбільше значення згинального моменту по довжині стрижня;

φ , φ_c , φ_b – коефіцієнти поздовжнього згину;

N_x – критична сила за згину вздовж осі y ;

N_y – критична сила за згину вздовж осі x ;

N_ω – критична сила за кручення;

E і G – модуль деформації і модуль зсуву;

L_x і L_y – ефективні довжини елементів за згину вздовж осей x та y ;

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

I_ω – секторіальний момент інерції;

a_{cr} – числовий параметр, за якого конструкція втрачає стійкість;

$e_{ef,M1}$ – ексцентриситет;

M_1 – найбільший момент у кінцевому перерізі стрижня;

M_2 – найменший момент у кінцевому перерізі стрижня;

η – коефіцієнт форми перерізу;

$\delta = M_2 / M_1$ – коефіцієнт форми епюри моментів;

$M_{\max}$ – найбільший згинальний момент у межах довжини стрижня;

M_1 – найбільший згинальний момент у межах середньої третини довжини стрижня, але не менше, ніж $0,5 \cdot M_{\max}$;

N_{cr} і M_{cr} – критичні зусилля;

$a_{ult,k}$ – мінімальне значення коефіцієнта збільшення розрахункового навантаження для досягнення граничного стану за міцністю для найбільш навантаженого елемента;

a_{cr} – мінімальне значення коефіцієнта зростання навантаження для досягнення граничного стану за стійкістю;

φ – коефіцієнт для розрахунку стійкості;

χ – редуційний (зменшувальний) коефіцієнт;

b_f і t_f – ширина і товщина стиснутого поясу;

h – відстань в осях поясів.

Додаток Е

N – поздовжня сила (позитивна за стиснення), що діє на переріз 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;

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 розглядають;

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;

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

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

- $\sigma_{y,i,\max}$ – максимальні поперечні напруження в i -тому відсіку (позитивні за 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;
 $\mu_1 = \mu$ коли $a_i \geq h_i$, інакше $\mu_1 = 1 / \mu$;
 χ – коефіцієнт пружного утримання стінки поясом балки;
 z – коефіцієнт, що враховує форму відсіку;
 δ – коефіцієнт, що враховує форму відсіку;
 $\sigma_{x,cr,ef}$, $\sigma_{z,cr,ef}$ і $\tau_{xz,cr,ef}$ – приведені критичні нормальні і дотичні напруження;
 ε – коефіцієнт враховує відношення сторін відсіку і ступінь перекосу епюри напружень по висоті стінки;
 ζ – коефіцієнт враховує локальний характер дії зосередженої сили;
 γ – коефіцієнт враховує защемлення пластинки стінки поясом балки;
 t_f і b_f – товщина і ширина поясу балки;
 t_i і h_i – товщина і висота відсіку стінки;
 ω_1 – коефіцієнт враховує форму епюри нормальних напружень;
 χ – коефіцієнт враховує пружне защемлення відсіку стінки поясом;
 l – прогін поздовжнього ребра між поперечними балками;
 I_p – полярний момент інерції ребра відносно листа настилу;
 b_1 і t_1 – висота і товщина стінки ребра;
 b_2 і t_2 – ширина і товщина полиці ребра;
 e – відстань від центру ваги тавра до листа настилу;
 I_x і I_y – моменти інерції відносно осей x і y ;
 I_ω – секторіальний момент інерції за стисненого кручення;
 I_t – момент інерції перерізу тавра за чистого кручення;
 A – площа тавра;
 L – прогін поперечної балки;
 l – відстань між поперечними балками;
 I_s – момент інерції поперечної балки;
 $A_{s,l}$ – площа повного перерізу поздовжнього ребра;
 $I_{s,l}$ – момент інерції повного перерізу поздовжнього ребра;
 k – кількість поздовжніх ребер;
 ψ – коефіцієнт: 0,055, коли $k=1$; 0,15 коли $k=2$; 0,2 коли $k \geq 3$;
 α – коефіцієнт;
 l – відстань між поперечними балками;
 L – прогін поперечних балок;

l_{ef} – розрахункова довжина поздовжніх ребер;

ω – коефіцієнт-функція від α ;

α – коефіцієнт оцінює жорсткість поперечної балки;

ξ – коефіцієнт, що враховує деформацію листа з ребрами з площини;

I_t – момент інерції перерізу поздовжнього ребра за вільного кручення;

t – товщина листа настилу;

b_1 – відстань між поздовжніми ребрами.

Додаток Ж

R_{yn} – характеристичне значення опору текучості;

$\Delta\sigma$ – розмах нормальних напружень від діючих розрахункових навантажень;

$\Delta\tau$ – розмах дотичних напружень від діючих розрахункових навантажень;

$\Delta\sigma_{R,n}$ – пороги витривалості нормальних напружень за певної кількості циклів навантажень, n ;

$\Delta\sigma_c$ – поріг витривалості для 2 млн циклів;

$\Delta\sigma_D$ – поріг витривалості для 5 млн циклів;

$\Delta\sigma_L$ – поріг витривалості для 5 млн циклів;

$\Delta\tau_{R,n}$ – пороги витривалості дотичних напружень за n циклів навантажень;

$\Delta\tau_c$ – поріг витривалості для 2 млн циклів;

$\Delta\tau_D$ – поріг витривалості для 5 млн циклів;

$\Delta\tau_L$ – поріг витривалості для 5 млн циклів;

γ_{fM} – коефіцієнт надійності порогу витривалості;

P_k – характеристичний тиск осі тандему;

γ_s – коефіцієнт, що враховує локальне навантаження;

γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням;

$1+\mu$ – динамічний коефіцієнт;

N – кількість циклів навантажень за період експлуатації мосту;

n_D – кількість днів у році;

n_Y – розрахунковий строк експлуатації мосту за роками;

n_C – кількість циклів від проходу одного потягу;

n_T – середня денна кількість потягів, що проходять в одному напрямку по мосту за день;

N – кількість циклів розмаху напружень від проходу одного тандему в одному напрямку по мосту протягом розрахункового строку експлуатації;

$n_D = 365$ – кількість днів у році;

$n_Y = 100$ – розрахунковий строк експлуатації мосту;

$n_C = 1$ – кількість циклів від проїзду одного тандему в одному напрямку;

n_T – середня денна кількість тандемів, що проходять по мосту в одному напрямку по одній смузі;

N_i – гранична кількість циклів;

$n_1, n_2 \dots n_i$ – фактична кількість прогнозованих циклів для розмахів діючих напружень $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2 \dots \Delta\sigma_i$.

Додаток И

β – ефективні коефіцієнти концентрації напружень;

m_f – коефіцієнт, що враховує вплив зсувів з'єднаних елементів.

Додаток К

A – відстань від краю отвору до кромки провушини вздовж зусилля;

B – відстань від краю отвору до кромки провушини поперек зусилля;

C – проміжок між площинами листів провушин;

d – діаметр пальця;

d_0 – діаметр отвору;

n – кількість площин зрізів (болтів тощо);

t – товщина провушини;

e_1 – відстань від кромки елемента з'єднання вздовж зусилля;

e_2 – відстань від кромки елемента з'єднання поперек зусилля;

p_1 – відстань від між болтами вздовж зусилля;

p_2 – відстань від між болтами поперек зусилля;

A_b , A_r і A_p – площа стрижня болта, заклепки або пальця;

A_s – площа зрізу;

A_{net} – площа болта нетто;

R_u – тимчасовий опір елементів з'єднання; характеристичне значення;

R_{un} – тимчасовий опір (характеристичне значення);

R_{ub} – тимчасовий опір болта (характеристичне значення);

R_{yn} – опір текучості (характеристичне значення);

F_{Ed} – розрахункова сила;

$F_{Ed,ser}$ – сила у граничному стані за експлуатаційною придатністю від характеристичних навантажень;

F_{Rd} – розрахунковий опір;

$F_{Rd,ser}$ – опір у граничному стані за експлуатаційною придатністю від характеристичних навантажень;

M_{Ed} – розрахунковий момент у пальці;

c – проміжок між площинами листів провушин;

t_1 – товщина парної провушини;

$M_{Ed,ser}$ – діючий момент у пальці в граничному стані за експлуатаційною придатністю від характеристичних навантажень.

Додаток Л

k – коефіцієнт розривного зусилля;

N_{Ed} – розрахункова найбільша сила в канатному елементі;

N_{Rd} – граничне розрахункове значення опору канатного елемента;

N_{Rk} – характеристичне значення розривного зусилля канатного елемента з анкерами;

m – коефіцієнт умов роботи;

m_k – коефіцієнт умов роботи канатного елемента;

m_1 – коефіцієнт умов роботи для несних канатних елементів мостів;

m_2 – коефіцієнт умов роботи для канатів з урахуванням перегинання;

$\gamma_{M2} = 1,6$ – коефіцієнт надійності каната;

N_{min} мінімальне розривне зусилля каната загалом;

s – коефіцієнт зменшення несної спроможності за рахунок ослаблення опору в анкерах;

d – діаметр каната;

R_r – мінімальне розривне напруження дротів каната;

A_{cross} – площа металевого перерізу;

L_1 – довжина каната на контакті з сідлом від характеристичних найбільш несприятливої комбінації навантажень, охоплюючи ефект провисання канатів;

L_2 – додаткове ложе для контакту;

R – радіус сідла;

d' – діаметр відбитка на контакті каната з сідлом;

$\Delta\sigma_c$ – поріг витривалості для 2 млн циклів.

Додаток М

t_D – товщина листа настилу;

$h_{w,cross}$ – висота стінки поперечної балки;

$t_{f,cross}$ – товщина поясу поперечної балки;

h_{stif} – висота поздовжнього ребра;

t_{stif} – товщина стінки ребра;

h_w – товщина стінки поперечної балки;

e_{sL} – відстань в осях поздовжніх ребер;

e_r – відстань в осях стінок поздовжніх ребер;

l – відстань між поперечними балками;

L – відстань між головними балками;

h_s – товщина покриття проїзду;

t_D – товщина листа настилу;

e_{sL} – відстань між ребрами;

e_r – відстань між стінками ребер;

h_{stif} – висота ребра;

l – відстань між поперечними балками;

h_{cross} – висота стінки поперечних балок;

t_{stif} – товщина ребра;

$t_{w,cross}$ – товщина стінки поперечної балки;

$t_{f,cross}$ – товщина поясу поперечної балки;

e_E – відстань до крайньої поперечної балки;

A – площа замкненого контуру, утвореного ребром;

S_i – довжина i -того відрізка контуру;

t_i – товщина i -того відрізка контуру;

$M_{\min}^{\max}$ – екстремальні значення згинальних моментів;

$Q_{\max}$ – максимальна поперечна сила;

Q_{rel} , M_{rel} і N_{rel} – відповідні значення інших компонентів зусиль;

σ_x , σ_y і τ_{xy} – сумарні напруження від дії локальних і глобальних навантажень у напруженій точці листа настилу;

Q_k – поперечна сила;

I – момент інерції перерізу балки;

S – статичний момент зсуву листа настилу, відносно перерізу А–А;

e_{sL} – відстань між ребрами в осях;

h – плече листа настилу відносно перерізу А–А;

W_{A-A} – момент опору перерізу стінки А–А;

$F_{D,loc}$ – розрахунковий тиск колеса;

b – ширина перерізу А–А;

t_w – товщина стінки;

a – відстань між поздовжніми ребрами;

$v=2K$ т/м – навантаження на одиницю довжини колії.

Додаток Н

$t_{\min}$ – найменша з товщин деталей, які зварюють;

$t_{w,\min}$ – найменша товщина перерізу стикового шва для зварювання деталей із неповним проплавленням;

k_f – найменший з катетів кутового шва;

β_f і β_z – коефіцієнти розрахункових перерізів кутових швів;

σ_w і τ_w – нормальні і дотичні напруження в будь-якій точці зварного шва, відповідно;

$R_{w,y}$ і $R_{w,s}$ – розрахункові опори зварного шва текучості та зрізу, відповідно;

R_{wun} – номінальне значення тимчасового опору металу шва;

γ_{M2} – коефіцієнт надійності за матеріалом шва;

$\tau_{\perp}$ – дотичні напруження в площині перерізу шва перпендикулярно до напрямку шва;

$\tau_{\parallel}$ – дотичні напруження в площині перерізу шва вздовж напрямку шва;

$\sigma_{\perp}$ – нормальні напруження, перпендикулярні до площини руйнування;

W – момент опору перерізу елемента бруто в площині, що перевіряють (ослаблення

листових деталей перфораціями дозволено не враховувати);

l – довжина складеного елемента;

φ – коефіцієнт поздовжнього згину для розрахунку стійкості елемента в площині, яку перевіряють;

t_i – товщина листової деталі, що кріплять;

n – кількість паралельно розташованих листових деталей.

Додаток П

F_h – характеристичне значення горизонтальної сили в поперечному напрямку на бордюру;

F_v – характеристичне значення вертикальної сили на бордюру;

Q_{lk} – характеристичне значення горизонтальної відцентрової сили поперек мосту на шов у межах проїзду;

$Q_{v,A}$ – характеристичне значення аварійного навантаження;

$Q_{v,1}$, $Q_{v,2}$, $Q_{v,3}$ – навантаження на вісь тандему на першій, другій і третій смугах;

Q_{lk} – характеристичне значення горизонтальної сили вздовж мосту на шов у межах проїзду коліс тандемів від дії сили тяги/гальмування;

$F_{h,ej}$ – горизонтальна сила від сил тертя шва;

$F_{v,ej}$ – вертикальна сила від сил тертя шва.

Додаток Р

R_{xy} – горизонтальна сила від зсуву;

A – повна площа ЕАОЧ;

T_e – сумарна товщина шарів еластомеру.

G – модуль зсуву еластомеру;

$\mu_{\max}$ – максимальний коефіцієнт тертя;

μ_a – коефіцієнт тертя для несприятливих дій;

μ_r – коефіцієнт тертя для сприятливих дій;

α – коефіцієнт, що залежить від кількості ОЧ;

$F_{xy,Ed}$ – розрахункове значення сили зсуву, що діє на ОЧ;

$F_{xy,Rd}$ – розрахункове значення опору зсуву ОЧ;

$F_{z,Ed}$ – мінімальне розрахункове значення опорної реакції;

$F_{xy,a,Rd}$ – розрахункове значення опору деталей анкерення ОЧ в горизонтальній площині;

μ_k – характеристичне значення коефіцієнта тертя на контакт з ОЧ;

γ_μ – значення коефіцієнтів надійності для тертя ОЧ відносно балки (опори);

$F_{xy,d}$ – сумарний вектор горизонтальних сил;

$F_{z,d \min}$ – мінімальна вертикальна сила;

μ_e – коефіцієнт тертя ЕАОЧ по поверхні балки або підферменника;

σ_m – усереднене значення напружень стиску в МПА;

a , b або D – розміри контуру ЕАОЧ вздовж і поперек мосту або діаметр круглої ЕАОЧ;

a', b' або D' – відповідні розміри сталевих листа;

t_b – висота ЕАОЧ;

t_s і t_i – товщина сталевих листа і товщина проміжних шарів еластомеру;

t_e – сумарна товщина t_i проміжних шарів еластомеру;

n – кількість проміжних шарів еластомеру;

$F_{z,d}$ – розрахункова вертикальна сила;

σ_{Rd} – розрахунковий опір стиску ОЧ;

τ_{Rd} – розрахунковий опір зсуву ОЧ;

$\nu = 0,5$ – коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_{c,d}$ – розрахункове напруження стиску;

A_r – ефективна площа ЕАОЧ, розраховують за формулою;

A_1 – площа сталевих листа, крім площі отворів;

$v_{x,d}$ і $v_{y,d}$ – переміщення вздовж і поперек мосту;

$\tau_{xy,d}$ – дотичні напруження від переміщень, v_{xy} ;

$\tau_{a,d}$ – дотичні напруження від кута повороту, v_{xy} ;

$\alpha_d = \alpha_{0,d} + \alpha_{w,d} + m \cdot \alpha_{t,d} + \alpha_i + \alpha_0$ – сумарний кут повороту, рад;

$\alpha_{0,d}$ – початковий кут повороту;

$\alpha_{w,d}$ – кут повороту від постійних навантажень;

$\alpha_{t,d}$ – кут повороту від транспортних навантажень;

α_i – ухил верхньої поверхні відносно підферменника;

$m=1$ – для автомобільного і $m=1,2$ – для залізничного навантаження;

S – коефіцієнт форми: відношення площі еластомеру під сталевим листом до площі бічних поверхонь;

l_p – периметр сталевих листів із урахуванням отворів;

t_e – ефективна товщина шару еластомеру;

K_l – коефіцієнт навантаження;

$\varepsilon_{c,d}$ – розрахункова деформація розтягу;

$\varepsilon_{q,d}$ – розрахункова деформація зсуву;

$\varepsilon_{a,q}$ – розрахункова деформація повороту;

$\varepsilon_{t,d}$ – сумарна відносна деформація;

$\varepsilon_{u,d}$ – граничне значення відносної деформації;

$\varepsilon_{u,k}$ – максимальне значення для стадії експлуатації;

γ_m – коефіцієнт надійності;

S_i – коефіцієнт форми шару еластомеру;

E_b – модуль об'ємної пружності еластомеру;

V_{xy} – вектор горизонтальних сил;

T_q – повна товщина всіх шарів еластомеру (зовнішні включно);

N'_{Rk} – характеристичне значення опору стиску на одиницю довжини котка;

E – модуль деформації;

R_{un} – тимчасовий опір;

r – радіус циліндричної поверхні;

N'_{Rk} – характеристичне значення опору стиску на сфери на контактї;

r – радіус опуклої поверхні;

r_1 – радіус увігнутої поверхні;

e_{total} – сумарний ексцентриситет опорної реакції балки.

Додаток Т
(довідковий)
БІБЛІОГРАФІЯ

1. ТУ У 322-16-127-97 Прокат листовий з низьколегованої сталі для мостобудування
2. ТУ У 27.1-05416923-085:2006 Прокат листовий зварювальний з якісної сталі класів міцності 355-590 для машинобудування
3. ETAG 032 Настанова з європейського технічного впровадження. Деформаційні шви автодорожніх мостів (Частини 1 – 8)
4. NORSOK Standart M501. Підготовка поверхні і захисне покриття
5. ГОСТ 5521 Прокат сталевий для суднобудування. Технічні умови